

С.И. Сухонос

**МАСШТАБНЫЙ ЭФФЕКТ
—
НЕРАЗГАДАННАЯ УГРОЗА**

МОСКВА
НОВЫЙ ЦЕНТР
2001

УДК 539.3/4
ББК 22.251
С 91

Сухонос С.И.
С 91 Масштабный эффект — неразгаданная угроза. М.: Новый Центр, 2001. —
68 с.
ISBN 5-89117-067-1

Целью данной работы является привлечение внимания специалистов и общества к явлению масштабного эффекта (М-эффекта). В работе показан универсальный характер влияния М-эффекта на свойства всех материалов и тел на Земле в широком размерном диапазоне от атомных до планетарных масштабов. Метод исследования — системное обобщение фактологического материала из различных областей науки и техники.

УДК 539.3/4
ББК 22.251

ISBN 5-89117-067-1

© Сухонос С.И., 2001

ВВЕДЕНИЕ

С масштабным эффектом мы знакомы еще с детства. Наблюдая за муравьем, который тянет на себе груз в несколько раз больший, чем он сам, за кузнечиком, который прыгает на расстояния, во много раз превосходящие его размеры, за жуком, который падает с метровой высоты и как ни в чем не бывало продолжает свое путешествие, мы воочию видим проявление этого самого масштабного эффекта.

В самых общих словах его суть — в уменьшении величин относительных силовых характеристик объектов по мере увеличения их масштабов. Или более узко — потеря прочности по мере увеличения размеров тела. В самом деле, для человека смертельно падение с той же относительной высоты, с какой для жука абсолютно безопасно; если на слона нагрузить бревна весом в несколько раз больше, чем его масса, то в отличие от муравья он не сможет его стронуть с места.

Итак, биологический мир с детства всем нам свидетельствует:

Чем крупнее, тем относительно слабее,
и наоборот,

Чем меньше, тем относительно сильнее и абсолютно прочнее.

Ну не удивительно ли, что этот казался бы очевидный, лежащий на поверхности принцип природы инженеры впервые открыли в технике лишь в 30-х годах XX века? Серьезное же внимание обратили на него лишь после войны, когда двум правительственным комиссиям США и Великобритании пришлось расследовать большое количество загадочных аварий и катастроф.

И не удивительно ли, что впоследствии опять почти забыли о М-эффекте, оставив исследовать его лишь кругу очень узких специалистов в области прочности материалов? Но и там он находится на периферии интереса. Загляните в справочники по физике или даже по машиностроению. Вряд ли вы найдете в нем даже слова «масштабный эффект» или «масштабный фактор», хотя в специальных работах эти понятия давно обозначены и описаны, а их влияние на изменение прочности материалов измеряется десятками процентов.

М-эффект как бы пожирает прочность всех тел, по мере роста их размеров, и ставит под угрозу аварий наиболее крупные, а поэтому и наиболее дорогие, сооружения: корабли, мосты, самолеты, ракеты, пирамиды, здания, подводные лодки, трубопроводы и т.п. Более того, в данной статье будет выдвинуто предположение, что **масштабный эффект может оказаться для цивилизации на многие порядки более опасным и разрушительным, чем радиация.**

Чтобы это показать, заглянем в прошлое и попытаемся там найти первые предвестники этой неразгаданной еще человечеством глобальной угрозы.

1.

ЗАГАДОЧНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ

В середине XX века весь мир потрясли сообщения о загадочных технических катастрофах. Рушились только что возведенные мосты, и тонули новые корабли без всяких видимых причин в тихой гавани. Катастрофы ничего не объединяло — в проектировании разрушившихся конструкций участвовали совершенно разные конструкторские коллективы, строили их различные фирмы в разных местах из

разного металла. Единственным общим признаком было лишь то, что все катастрофы происходили с наиболее крупными по тем временам сооружениями. Создавалось впечатление, что природа поставила для человечества некоторый предел масштабного роста, за которым все предыдущие навыки и теории переставали работать.

В первую очередь это стали осознавать кораблестроители. «...Средняя длина танкеров, зарегистрированных в Регистре судоходства Ллойда в 1955 г., составляла ок. 166 м, а в 1964 г. — 217 м. Таким образом, за девять лет длина танкеров увеличилась более чем на 30%. В связи с этим и многими другими обстоятельствами возникли новые проблемы, некоторые из которых привели к радикальным изменениям способов проектирования и изготовления, требующих тщательного анализа, изобретательности и опыта» [1, с. 345].

Как впоследствии выяснилось, странные катастрофы с крупными сооружениями происходили практически во все времена, просто на них не обращали особого внимания и не подозревали, что их объединяет общая причина. Впервые к ним было привлечено самое пристальное внимание лишь после двух невероятных катастроф с кораблями, произошедшими в 1943 г. с судном «Шенектэди»¹ и судном аналогичной конструкции «Эссо Манхэттон», которое разрушилось в спокойную погоду в 1947 г. спустя семь месяцев после спуска его на воду. «В Великобритании авария Шенектэди» произвела на всех ошеломляющее впечатление... Эти случаи глубоко потрясли людей непосредственно связанных с судостроением... По обе стороны Атлантики распространялись и шумно выдвигались разные теории...» [1, с. 356–357].

«Так как авария произошла на судне, построенном фирмой, хорошо себя зарекомендовавшей, рассеялось мнение о том, что ее причиной явилась неопытность его строителей. Произошедшее настолько взволновало кораблестроителей, что немедленно начались расследования» [1, с. 348].

В США и Англии были созданы самые авторитетные комиссии, которым предоставили широкие полномочия для выяснений причин подобных аварий и для предельной объективности этих расследований было принято решение, что «разрушения составляют часть инженерной проблемы и должны изучаться без каких-либо обвинений или юридической ответственности... В докладе Коллегии по расследованию США (1947 г.) содержались отчеты о 132 серьезных авариях... В это число входили аварии на трех судах «Либерти» и четырех танкерах Т2, разорвавшихся пополам» [1, с. 349]. Впоследствии было установлено [13, с. 381], что число загадочных аварий с судами «Либерти», которые перевозили военные грузы в ходе второй мировой войны приближалось к 1500.

На самом деле первый тревожный сигнал в отношении этих судов был получен еще в 1942 г., когда «суда были вынуждены выходить из конвоя и следовать в порт для ремонта. *Аварии обычно происходили внезапно и сопровождались громким звуком, который в некоторых случаях приписывался вражескому действию* (курсив мой. — С.С.). Эти явления вначале трактовались как следствие войны и не были немедленно исследованы. Суда «Либерти» были построены для транспорти-

¹ «„Шенектэди“ — судно... построенное „Кайзер Компани“ в г. Портланде, штат Орегон успешно завершило морские испытания и возвратилось на якорную стоянку верфи. 16 января 1943 г. в 22 ч 30 мин в тихую холодную погоду (температура воздуха $-3,3^{\circ}\text{C}$) судно внезапно разрушилось в кормовой части надстройки капитанского мостика... Трещина началась около середины судна в месте присоединения фасонного листа к ширстреку кормового правого борта палубной надстройки и прошла почти мгновенно через палубу вниз с обеих сторон корпуса судна... Судно надломилось... нос и корма опустились в ил речного дна» [1, с. 347].

рования военных грузов и, следовательно, рассматривались как «невозвратимые» [1, с. 346–347]. Видимо, эта их запланированная «одноразовость» и привела к тому, что количество загадочных аварий составило такую астрономическую величину. Таким образом, прозвучавший первый громкий сигнал о неблагополучии с крупными конструкциями был заглушен грохотом мировой войны. И не будь аварии уже в мирное время (1947 г.) с судном «Эссо Манхэттон», все эти случаи так бы и остались, видимо, не исследованными.

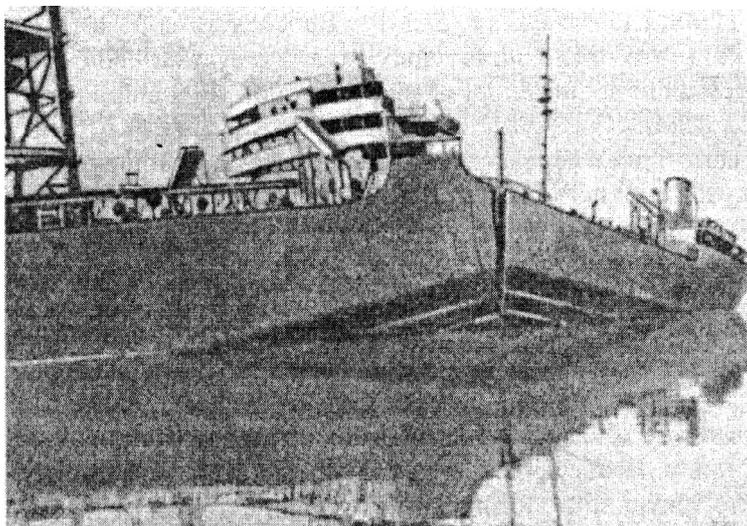


Рис. 1.

Хрупкое разрушение сварного танкера [13, с. 381]

Итак, в двух ведущих морских державах мира — в Великобритании и США приступили к работе государственные комиссии, состоящие из лучших в мире специалистов по строительству и эксплуатации кораблей. Для них были созданы уникальные условия, в том числе и юридические — потенциальные виновники аварий заранее получили амнистии. Естественно было ожидать, что причины всех этих неприятностей окажутся быстро установленными, будут изменены требования к строительству кораблей и загадочные катастрофы больше не проявятся. Однако, как это ни парадоксально, ожидания такого рода не оправдались.

Первые объяснения разрушений были столь противоречивыми, что работа комиссий растянулась на долгие годы. «При этом было собрано огромное количество данных, анализ и составление отчета о которых занял 5 лет...». Но даже столь долгие расследования лучших специалистов привели в конечном итоге к общему пессимистичному выводу: «...результаты... исследований не были эффективными» [1, с. 367]. Согласитесь, что неудача этих двух комиссий вызывает глубокое недоумение и тревогу. Поэтому познакомимся с их выводами более подробно. Рассмотрим по очереди все исследованные факторы, опираясь на обобщающую работу [1] Дж.М. Бойда, опубликованную в 7-томном сборнике «Разрушение».

«А. Прочность конструкций»

Первоначальные предположения о том, что разрушение происходит из-за недостаточной прочности конструкций, были несостоятельными, потому что новые суда были модификацией хорошо апробированных судов. В значительной мере использовалась сварка без уменьшения размеров или толщины листов, что казалось оправданным, так как устранялись отверстия под заклепки.

Б. Квалификация судостроителей.

Общее мнение, что разрушения происходили впоследствии неопытности судостроителей, было ошибочным... Разрушения судов, построенных позднее другими верфями, подтвердили, что основной причиной случившегося не является низкая квалификация судостроителей...

В. Технология изготовления

...Коллегия по расследованию в США не установила связи между способами изготовления судов на верфи и случаями разрушений... Таким образом, причиной разрушений не является низкая квалификация или неподходящие способы изготовления на верфи...

Г. Жесткость

...Некоторыми исследователями была высказана мысль, что сварное судно монолитной конструкции является более жестким, чем клепанное... Много длительных и дорогостоящих натурных экспериментов было проведено на реальных судах. Они показали, что сварные суда являются более гибкими, чем клепанные...

Д. Концентрация напряжений

Считалось, что клепанные соединения обладают большей способностью приспособляться к локальными концентраторам напряжений... Однако танкеры T2, которые по сравнению с судами «Либерти» в большем количестве разрывались пополам, не имели квадратных люков и других очевидных концентраторов напряжений...

Е. Остаточные напряжения

...Известно, что при сварке возникают остаточные напряжения, которые локально достигают значений предела текучести. Считалось также, что эти напряжения в сочетании с рабочими напряжениями приводят к разрушениям... Для обоснования этих аргументов были начаты значительные и дорогостоящие исследования... По результатам проведенных работ можно сделать общие выводы...

1. Наличие остаточных или реактивных напряжений не может служить причиной хрупкого разрушения...

Полемика относительно остаточных напряжений, вероятно, никогда не будет завершена, но при исследовании судов их можно не принимать в расчет...

Ж. Температурные напряжения

Температурные напряжения рассматриваются как факторы, способствующие хрупкому разрушению... Они имеют небольшое значение в судах...

З. Сварка

В первые дни расследования все неудачи со сваркой объясняли неопытностью сварщиков, которые в условиях войны прошли ускоренное обучение. При тщательном изучении выяснилось, что даже в разрушенных кораблях сварка была качественной. Серьезная критика не могла быть направлена против квалификации строителей, технологических процессов или контроля...

Следует отметить, что разрушения чаще происходили в сварных конструкциях и при более низких номинальных напряжениях, чем в клепанных конструкциях. Сварка, следовательно, не была полностью исключена из числа причин возникновения разрушений...

И. Масштабный фактор

В процессе исследования хрупкого разрушения часто обсуждался вопрос о масштабном факторе, так как было установлено, что хрупкость материала возрас-

тает с увеличением размера образца... Исчерпывающего объяснения этого эффекта пока не сформулировано...

К. Усталость

...При тщательном изучении хрупких разрушений установлено, что лишь некоторые из них начинались от усталостных трещин... Следовательно, при изучении проблемы хрупкого разрушения фактору усталости отводится второстепенная роль...» [1, с. 356–364].

Итак, по мере работы комиссий постепенно выяснялось, что многие лежащие на поверхности возможные объяснения этих катастроф оказались несостоятельны. В конечном итоге комиссии однозначно установили, что **причиной не могли быть: прочность конструкций или ошибки в расчетах, квалификация судостроителей, технология изготовления, недостаточная жесткость судов, концентрации напряжений или остаточные напряжения, качество сварки или последствия сварных работ** [1]. Было также установлено, что второстепенными причинами могли являться усталость металла, последствия ударных нагрузок и температурный фактор. Но они не могли сыграть решающей роли и являлись скорее дополнительными факторами. «Казалось бы, основные факторы, которые находились под подозрением, а именно: сварка, квалификация изготовителей, конструкция, внутренние напряжения и даже качество материала — реабилитированы. Причина беспокойства кроется в неуловимом свойстве материала...» [1, с. 368]. Удивительный вывод для таких представительных комиссий: **причина кроется в неуловимом свойстве материала.**

И если лучшие специалисты мира приходят к такому странному выводу, то, видимо, человечество столкнулось здесь с явлением явно неординарным. Полагаем, что это явление имеет одну общую причину.

Для поиска этой причины объединим все подобные аварии под общим определением «загадочных технических катастроф» — **ЗТК**. ЗТК — это такие катастрофы, **причины которых кроются в неуловимых свойствах материалов, и происходящие внезапно с наиболее крупными объектами.**

Еще раз подчеркнем наиболее парадоксальное свойство аварий такого типа. Оно заключается в том, что полностью, достоверно и окончательно исключены любые возможные (из известных человечеству) причины аварий. Конечно, далеко не все таинственные аварии и катастрофы можно отнести к категории ЗТК. Причины множества таинственных катастроф, остаются не разгаданными лишь потому, что их невозможно было установить. Например, объект разрушился до такой степени, что по его обломкам невозможно определить причину, либо объект вообще пропал, либо была вероятность неправильного действия экипажа или обслуживающего персонала, но он погиб в аварии и выяснить ничего уже нельзя. В данной же работе исследуются причины лишь неразгаданных аварий² типа произошедшей с судном «Эссо Манхэттон», которое, стоя в гавани в тихую погоду, неожиданно развалилось пополам, хотя было очевидно, что к этому судну в тот момент ничто «не прикасалось».

² Но при этом мы не исключаем, что ряд громких катастроф последнего времени («Челенджер», «Эстония», «Конкорд»...) можно отнести к категории ЗТК, хотя выводы комиссий зачастую, казалось бы, этому противоречат.

2. М-ФАКТОР ПОД ПОДОЗРЕНИЕМ

По мнению автора, главным фактором, влияние которого на аварии-загадки комиссии не исключили, был М-фактор. Он отражает явление М-эффекта, из-за которого хрупкость материала возрастает с увеличением размера конструкции. Пожалуй, тот момент, когда М-эффект попал в поле зрения двух упомянутых комиссий, можно считать официальным признанием его существования.

Первое упоминание о нем комиссии нашли в ранних экспериментах Дочерти, исследования которого еще в 1932–1935 гг. показали странную зависимость, не следовавшую из теории материалов. Прочность образцов различных материалов оказалась зависимой от их размеров. В 1938 г. Вейбулл предположил, на основании статистических представлений, что причиной М-эффекта являются внутренние дефекты критического размера, которые «становятся более вероятными в образцах больших размеров...» [1, с. 363]. Фактов, обнаруженных комиссией, показывающих коварную роль М-фактора в катастрофах, оказалось так много, что «было отмечено влияние геометрического масштабного фактора... в крупных конструкциях, таких как суда, мосты и поковки роторов большой толщины» [Там же].

И хотя в выводах комиссий не содержится прямое указание на М-эффект, как на **основную** причину загадочных аварий с кораблями, автор предполагает, что именно М-эффект является тем «неуловимым свойством», которое ответственно за большинство неразгаданных технических катастроф. В дальнейшем будут проанализированы аргументы в пользу такой точки зрения.

Почему же столь представительные комиссии не сделали такой вывод? По очень простой причине — существовавшая тогда и существующая поныне теория М-эффекта поверхностно отражает его глубинную сущность. Поэтому теория М-эффекта и не дала логическое обоснование всем катастрофическим случаям. Обратно говоря, в том виде, в котором известен науке М-эффект, он остается скорее загадочным миражом, чем четко осознанной опасностью.

Проведенные двумя комиссиями расследования заставили пересмотреть все основы кораблестроения. А кроме того, они привлекли внимание к авариям в других областях техники. Хрупкие разрушения в конструкциях самого разного назначения, **объединявшихся только их крупными размерами**, стали отмечаться как часть той же проблемы. Специалисты подняли архивы вплоть до 1886 г. и изучили аналогичные катастрофы в напорных трубах, емкостях для хранения, сосудах высокого давления, трубопроводах, мостах, турбогенераторах. Удалось выяснить только, что неожиданные хрупкие разрушения крупных конструкций — **повсеместное и не очень редкое явление**, которое каждый раз списывалось на какие-то частные причины, хотя становилось ясно, что их что-то объединяет, несмотря на их различную техническую природу. По мнению автора, их объединяет неразгаданная суть М-эффекта.

Итак, проведенные комиссиями расследования не внесли окончательную ясность в причины всех этих хрупких разрушений. Во всяком случае, как мосты разрушались неожиданным образом до них, так они разрушались и после. Так, например, 14 марта 1938 г. практически без нагрузки разрушился мост «Хасселт» в Бельгии³. Расследование загадочных причин катастрофы было не завершено ввиду начала второй мировой войны. Но уже в июле 1962 г. (после работы всех

³ «Это был сварной мост через канал „Альберт“. Он разрушился... в холодную погоду практически без нагрузки. Разрушения были чрезвычайно хрупкими по виду, „подобно чугуну“» [1, с. 354].

комиссий) аналогично разрушился Королевский мост в Мельбурне. Хрупкое разрушение привело к аварии Чайнтонского ядерного реактора во Франции в 1959 г., разрушению сосуда высокого давления при гидростатическом испытании на Сайзвеллской атомной станции в Англии (май 1963 г.) и к множеству других аналогичных трагических случаев.

К сожалению, теоретические результаты этих и подобных им многочисленных исследований причин ЗТК оказались весьма незначительными. «...В настоящее время нет единственного критерия для объяснения явления хрупкого разрушения. Критерии для различных сталей различны, и в разных отраслях техники их часто выбирают индивидуально для конкретных случаев» [1, с. 389]. Другими словами, в кораблестроении и других областях техники больше опираются на опыт предыдущих работ, на проверку реальных конструкций на их прочность, на стандарты. А поскольку катастрофы после принятия некоторых мер по упрочнению всех деталей конструкций стали более редкими, то на загадки хрупкого разрушения в одних областях техники просто махнули рукой, а в других — ввели множество контрольных процедур, эффективность которых, кстати, зачастую оказывается весьма низкой. Автор цитированного выше обзора, Дж.М. Бойд, анализируя практические результаты работы комиссий пишет: «с одной стороны, наблюдается **отказ от предосторожностей вообще** (выделено мной. — С.С.) в некоторых областях, с другой стороны, требуется жесткий контроль» [Там же]. Такой организационный результат работы двух комиссий приводит к удручающему выводу: в одних областях техники были приняты строжайшие дополнительные меры, в других не было принято никаких дополнительных мер, но и в том и другом случае количество ЗТК оказалось на одинаковом уровне. Отсюда очевидно, что принимаемые меры не затрагивают истинной причины разрушений. Следовательно, практические результаты работы двух комиссий оказались близкими к нулю. Инженеры еще больше уверились в слабости теоретических методов и в силе опыта предыдущих работ.

Увы, в некоторых случаях опора на прежний опыт оказывается невозможной. Речь идет о тех конструкциях и сооружениях, которые являются уникальными, изготавливаются впервые и выходят за рамки привычных масштабов. Хорошо если при этом удастся использовать стандартные конструкционные детали. А если и сами детали приходится делать заметно большего размера? Такого размера, опыт эксплуатации которого в мировой практике отсутствует? И тогда именно переход на большие масштабы является главным фактором риска. Спросим себя, что же будет гарантировать 100%-ю безопасность всех мостов, судов, самолетов, трубопроводов, зданий, ракет и т.п.?

Ответ, который дает на сегодняшний день инженерная наука, весьма тревожен. Специалисты смирились с тем, что «по сравнению с громадным количеством удачных сварных конструкций число разрушенных было значительно меньше» [1, с. 396]. Если перевести эту фразу на более выразительную, то становится ясно — при постройке **любых** конструкций закладывается заранее некоторый пусть и небольшой, но **обязательный** процент катастроф. То, что эти разрушения приводят к очень большим экономическим, а часто и людским потерям объяснять не надо. И при этом все списывается (из-за незнания истинных причин) на зловредную случайность. А что, если к этим *заранее обреченным объектам* относились и такие, как: Чернобыльская АЭС, «Челенджер», «Конкорд», паром «Эстония»... и далее? Заметим, что все эти объекты были из разряда самых крупных сооружений своего класса. Безусловно, в приведенном перечне причины аварий уже казалось бы определены (за исключением «Эстонии»). Они вроде бы все разные и никакого отношения к М-эффекту не имеют. Но так ли это на самом деле?

Зададим простой вопрос: почему до 50-х годов происходили сотни ЗТК во всех областях техники, а во второй половине XX века о них мы ничего не слышим? Почему мы больше не встречаемся с выводами комиссий, которые бы находили причину катастрофы в «неуловимых свойствах материалов»? Ведь две правительственные комиссии обнаружили очень большое количество катастроф и аварий, причина которых осталась неизвестной не потому, что не было данных для анализа. Все данные были. И они-то как раз и свидетельствовали о том, что ни одна из известных инженерам причин в принципе не могла быть ответственна за произошедшее. С точки зрения физики, теории материалов, практики строительства, точности конструирования и качества материалов во всех этих авариях все было в полном порядке. Т.е. для других таких же сооружений и конструкций при аналогичных обстоятельствах все эти факторы не приводили к катастрофе. Естественно, что комиссии исключили на первом этапе фактор диверсии, человеческой ошибки и какого-то случайного попадания чего-то там куда-то. В этом-то и важность тех выводов для всей цивилизации, что они показали — в свойствах материалов есть что-то «неуловимое», что неизвестно науке, неизвестно инженерам-практикам, что приводит иногда совершенно надежные, казалось бы, конструкции к разрушениям. И это «что-то» так и осталось после работы двух комиссий загадкой. И вот теперь об этом загадочном и таинственном свойстве мы уже не слышим последние десятки лет. Неужели это загадочное свойство «испарилось»?

Автор уверен, что чудеса не случилось. Уверен, что «неуловимые свойства» продолжают совершать свои загадочные «диверсии» с кораблями, самолетами, мостами, трубопроводами и т.п. и сегодня. Уверен, что подвержены этому воздействию, как и ранее, наиболее крупные представители подобной техники. Следовательно, о них перестали сообщать по другим причинам.

Зададимся вопросом, почему обнаружение катастрофического влияния «неуловимых свойств» произошло именно в послевоенные годы? Ответ, я думаю, прост. Во-первых, у двух послевоенных комиссий были развязаны руки в отношении ответственности за катастрофы. А можем ли мы представить, что комиссии, расследовавшие причины аварий с Чернобыльской АЭС, «Челенджером» или «Конкордом», сделали подобный же вывод? Нет, не можем. Почему? Такой вывод в глазах общественного мнения будет выглядеть как признание некомпетентности и поставит сразу вопрос: а что гарантирует общество от повторения подобных катастроф? Кто выделит тогда деньги на строительство подобных рискованных объектов? Кто полетит после этого на «Конкорде»? И вот мы видим, что катастрофа с паромом «Эстония», на котором 6 лет назад погибли более 800 человек, была списана на ошибки в конструировании. Однако спустя 6 лет фирма, которая строила этот паром, сумела полностью доказать свою невиновность. Следовательно, паром затонул не вследствие ошибок конструкторов или плохой работы кораблестроителей. В прессе стали обсуждать последнюю из возможных традиционных причин — теракт. Однако не верится в эту версию, ведь такие акции преследуют всегда какие-то политические цели. Здесь же они не просматриваются вообще. Спрашивается, кому он был нужен? Скорее всего теракта не было. А если и здесь сработало «неуловимое свойство материалов»? Так почему бы не организовать международную экспедицию и не обследовать паром «Эстония», имея в запасе версию о М-факторе? Может быть, результаты этой экспедиции спасут в дальнейшем тысячи жизней?

Во-вторых, особенность работы двух упомянутых комиссий была в том, что они расследовали не какую-нибудь одну (пусть самую громкую) катастрофу, а тысячи таинственных аварий и катастроф. Ни одна комиссия впоследствии не по-

лучала такого обширного поля для анализа. И сравнение всех рассмотренных загадочных аварий показало, что любое казалось бы очевидное объяснение для одной аварии не срабатывало при попытке опереться на эти же причины в схожих случаях.

В-третьих, комиссии исследовали массовые аварии с однотипными кораблями «Либерти». Вторично поставить такой же статистически значимый «эксперимент», запустив в серию тысячи однотипных кораблей приличных размеров, просто невозможно по экономическим соображениям. Специфика военного времени условий создала уникальные условия для «исследования» причин аварий, которые уже не будут повторены, видимо, никогда.

Кто хотя бы раз расследовал даже самую простую аварию — знает, что, как правило, к ней приводит сразу несколько причин. И из этого букета всегда можно выбрать одну-единственную причину, сделав ее «козлом отпущения» в глазах общественности. А поскольку в расследовании участвуют как правило члены той же профессиональной корпорации (посторонних в силу секретности и некомпетентности не пускают), которая и изготавливала эти объекты, то они всегда имеют возможность выбрать из всех причин такую, которая в наименьшей мере может повредить интересам данной корпорации. Ведь одно дело, когда самолет падает из-за случайного мусора на взлетной полосе (вот, не повезло беднягам), а другое дело, когда крылья самолета покрылись сетью трещин из-за «неуловимого свойства материалов», одна из трещин могла катастрофически увеличиться, бак мог дать течь и топливо попало в двигатель. Естественно, что такая причина, как «неуловимое свойство материалов», всегда останется за скобками официального отчета. Даже если кто-либо из щепетильных и дотошных специалистов впишет ее в докладную записку, руководство комиссии всегда найдет повод, чтобы ее вычеркнуть.

Поэтому мы должны быть благодарны тем стечениям обстоятельств, когда расследование велось уже после войны, когда заранее всех простили и когда аварий было так много и с сооружениями стольких фирм, что специалисты позволили себе искреннее и честное признание в своей беспомощности. А еще за то, что львиная доля аварий приходилась на «одноразовые» корабли «Либерти». Очевидно, что в ближайшем будущем аналогичные условия будут вряд ли созданы. Поэтому общественность должна знать: выводы любых комиссий о причинах аварий и катастроф (если эти причины связаны с «неуловимыми свойствами материалов») всегда могут быть правдивыми лишь отчасти.

Однако разум не хочет мириться с непредсказуемой случайностью, особенно там, где это приводит к катастрофам с самыми крупными техническими объектами. Попробуем поэтому подойти к этой проблеме заново, используя ранее накопленные факты и новейшие сведения о свойствах материалов. Попробуем внимательно взглянуться в М-эффект — вероятный виновник самых загадочных катастроф XX века.

3.

ОСОБЕННОСТИ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА

Что же представляется из себя М-эффект и кем он был открыт?

Дж.М. Бойд утверждает, что это сделал Дочерти. Другая версия приведена в обзоре по масштабному фактору Б.Б. Чечулина.

«В 1874 г. В.Л. Кирпичев... сформулировал теорему «О подобии при упругих явлениях». В этой работе впервые проанализированы закономерности изменения напряжений и деформаций при нагружении геометрически подобных твердых тел...

Кратко закон подобия деформирования твердых тел обычно формулируется следующим образом: если отношение линейных деформаций геометрически подобных тел равно отношению их линейных размеров, то отношение необходимых усилий для создания этих деформаций должно равняться квадрату линейных отношений... Установление закона подобия при нагружении геометрически подобных тел различных абсолютных размеров позволило проводить расчеты на прочность сложных конструкций по удельным механическим характеристикам с использованием методов теории упругости или пластичности...

Накопление практического опыта испытания материалов показало, однако, что... имеет много отклонений от этого закона... Поскольку эти отклонения означают влияние масштабов или размеров образца, чаще всего причины (влияющие на эти отклонения. — С.С.)... называют масштабным фактором, а само явление (его величину) — масштабным эффектом» [14, с. 5–6].

Проанализировав множество фактов о связи прочностных характеристик с размерами, Б.Б. Чечулин пишет: «...Крупные изделия, изготовленные из металла или сплава одного и того же химического состава, как правило, имеют пониженные характеристики прочности и пластичности, а также большую склонность к хрупким разрушениям...» [14, с. 8]. И далее: «Масштабный эффект заключается в том, что закон подобия при испытании механических свойств не оправдывался в отношении работы разрушения» [Там же, с. 12].

По Б.Б. Чечулину, первым, кто оповестил мир о масштабном эффекте, был Г. Шарпи, который сделал это в своем докладе VI конгрессу Международного общества испытания материалов [14, с. 12]. Но его объяснение причин появления М-эффекта оказалось ошибочным. И лишь работа А.П. Александрова и С.Н. Журкова (1933 г.) «положила начало изучению зависимости прочности при хрупком разрушении от размера испытываемых образцов» [Там же, с. 14]. А первым, кто нашел путь к объяснению М-эффекта, был А.М. Драгомилов [Там же, с. 13], который установил в 1936 г., что в больших образцах, при испытаниях их на излом, трещины появляются раньше, чем в маленьких. Но почему это происходит, он объяснить не смог.

Последующие исследования показали, что не только характер разрушения зависит от масштабов; было обнаружено «уменьшение пластичности при увеличении размеров образцов» [14, с. 15].

Итак, феноменология явления очень проста: прочность любых материалов снижается по мере увеличения размеров изделий (образцов). Десятилетние исследования этого явления позволили выяснить, что масштабный эффект понижения прочности образцов с увеличением их размеров присущ практически всем материалам: металлам, стеклу, горным породам, льду, полимерам, бетону, кирпичу и т.д. Проще сказать, что не выявлен ни один природный или искусственный материал, который бы не был подвержен явлению М-эффекта. Поэтому можно утверждать, что М-эффект — явление универсальное, общеприродное, не зависящее от вида атомов или молекул, которые входят в состав материала.

Важным вопросом является характер зависимости снижения прочности по мере увеличения размеров образцов. В отдельных случаях увеличение размеров в десять раз приводит к снижению прочности более чем в два раза [14, с. 29]. Но есть примеры и гораздо более быстрого падения прочности (рис. 2), которые по-

казывают, что на различных участках М-оси темп падения прочности по мере продвижения в область крупных размеров разный. К сожалению, автору не удалось обнаружить в литературе исследований проблемы общей закономерности падения прочности на различных участках М-оси. Поэтому в дальнейшем чисто условно будет принято, что средний темп снижения прочности при увеличении образцов в 10 раз составляет около 2,5. Соответственно принято, что снижение прочности в 10 раз происходит при увеличении размеров в 1000 раз. Однако это предположение носит весьма качественный и ориентировочный характер. Оно необходимо лишь для иллюстрирования в дальнейшем общей закономерности, точный характер которой автору неизвестен.

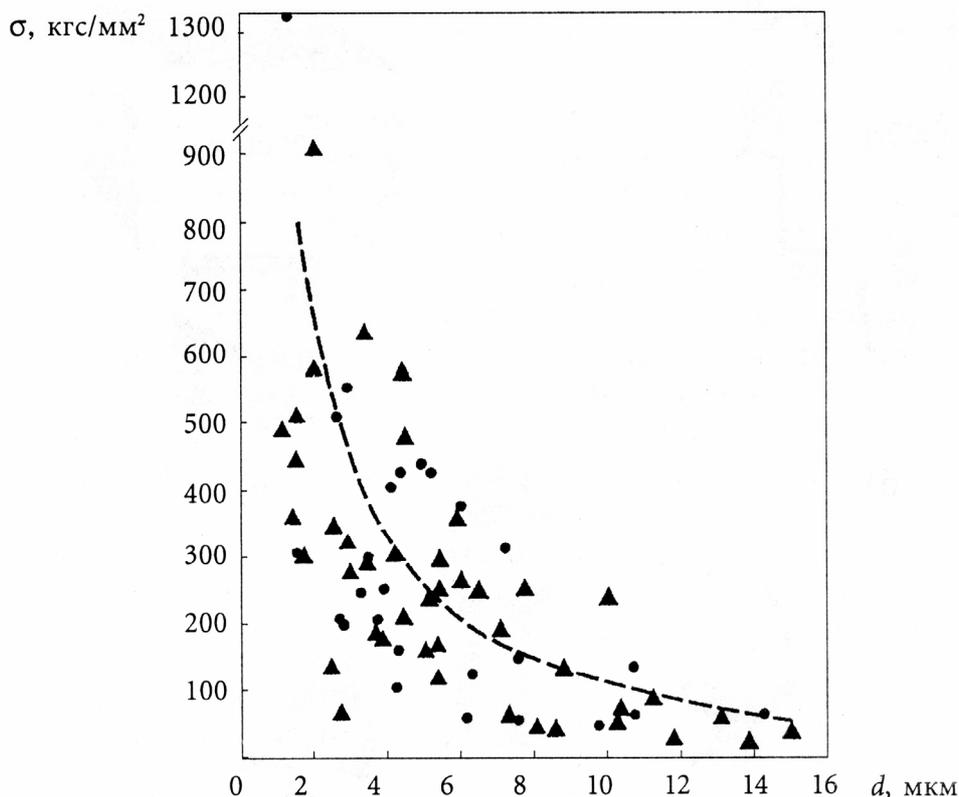


Рис. 2.

Прочность нитевидных кристаллов железа в зависимости от их диаметра [13, с. 223]

Примечательно, что для классической теории прочности М-эффект оказался явлением неожиданным. Ведь, согласно всем современным представлениям, прочность любых материалов определяется суммой сил связи атомов (или молекул) в теле детали в месте наименьшего сечения (в случае однородного образца). Именно связи атомов и молекул удерживают тела от разрушения. Поэтому очевидно, что для образцов, изготовленных в одинаковых условиях, прочность не может зависеть от размеров, ведь она определяется, как величина нагрузки, приведенная к единице площади (рис. 3). А квадратный миллиметр имеет одинаковое количество атомных связей как в мелкой детали, так и в крупной. Поэтому, если бы какой-либо теоретик в начале века *предсказал* бы масштабный эффект, то его сочли бы абсолютно неграмотным человеком. Но когда в экспериментах выяснилось, что М-эффект *создала* природа, наука вынуждена была искать объяснение этому парадоксальному явлению.

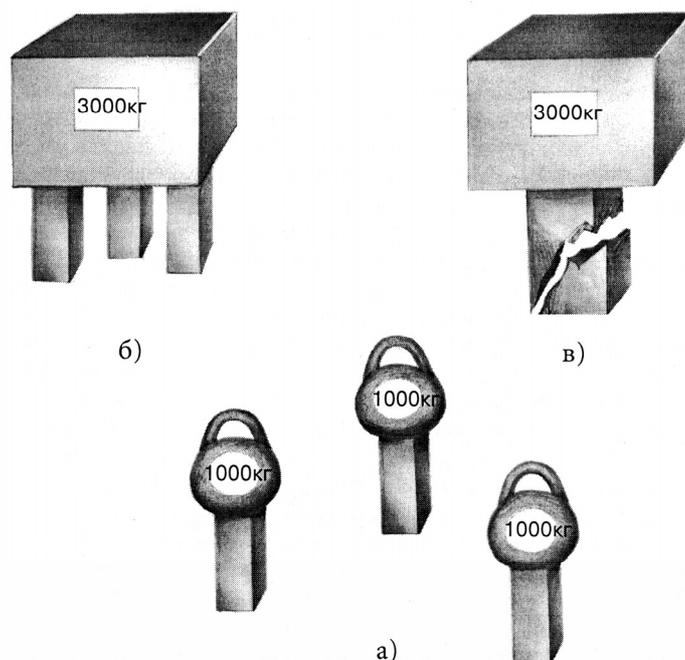


Рис. 3

Если взять стержень с площадью сечения в 1 см^2 и нагрузить его грузом F (например, равным 1000 кг — рис. 3а), который будет чуть меньше веса, при котором он разрушится (например, 1100 кг), то усилия между двумя соседними атомами в стержне будут соответственно равны:

$$f = F/N,$$

где N — количество атомов в слое, перпендикулярном к оси нагрузки.

Другими словами, общая нагрузка на стержень распределится равномерно между атомами в его слоях. И если f будет меньше некоторого f_m — максимального усилия, которое выдерживают связи между атомами данного материала, то стержень не разрушится. Если же больше, то все связи между атомами разорвутся и стержень также разорвется на две части. В данном абстрактном примере прочность материала стержня будет равна 1100 кг/см^2 .

Изменим опыт. Возьмем три одинаковых стержня, каждый с площадью сечения в 1 см^2 . Общая площадь таким образом будет 3 см^2 . Нагрузим их грузом 3000 кг (рис. 3б). Спрашивается, каково будет напряжение внутри стержней? Это легко подсчитать:

$$3000 \text{ кг} : 3 \text{ см}^2 = 1000 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, нагрузка на каждую пару атомов в соседних слоях стержня будет такой же, как и в первом случае. Разрушатся ли при этой нагрузке стержни? Теория дает ответ — нет. А практика? И она показывает — нет.

Еще раз изменим опыт. Возьмем другой целый стержень, площадь сечения у которого будет уже 3 см^2 . Нагрузим его грузом 3000 кг (рис. 3в). Спрашивается, каково будет напряжение внутри стержней? Это легко подсчитать:

$$3000 \text{ кг} : 3 \text{ см}^2 = 1000 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, нагрузка на каждую пару атомов в соседних слоях стержня будет такой же, как в первом и втором случае. Разорвутся ли при этой нагрузке стержни? Теория дает ответ — нет. В самом деле, с какой стати должен быть другой ответ? Ведь прочность зависит лишь от единичного усилия, необходимого для разрыва связей между атомами в теле. Это такое понятие, которое, казалось бы, очевидно, не может зависеть от размеров тела, от площади сечения и т.п. Какая разница для пары атомов в том, велико ли тело, в которое они входят?

Именно эти, в общем-то верные, рассуждения и являлись причиной того, что М-эффект был обнаружен и выявлен практически лишь к середине XX века, когда уже огромное количество сооружений и конструкций было построено без его учета.

И лишь относительно недавно, вопреки всей этой логике, экспериментально было установлено, что в третьем приведенном примере стержень может разрушиться на две части, т.е. не выдержать той же нагрузки, которая была и в первых двух случаях. Спрашивается, почему? Ведь усилия между отдельными атомами теоретически такие же. Что же происходит?

Оказалось, что все дело в дефектах (порах, трещинах и т.п.). И оказалось, что величина этих дефектов почему-то растет по мере роста размеров тела.

Единственное объяснение, которое не ломало бы все представления о физике атомных и молекулярных сил, лежало в области макромасштабов. Возникло предположение, что ответственность за М-эффект несут *макротрещины*, количество которых увеличивается с ростом размеров тела. Такие трещины резко уменьшают площадь реального сечения образца, поэтому общая нагрузка распределяется не на все атомы, которые могли бы разместиться в слое, перпендикулярном нагрузке, а на те атомы, которые реально распределены в одном из слоев. Разрыв в этом случае происходит в том месте, где их количество минимально и где, соответственно, количество дефектов максимально. В этом объяснении, казалось бы, все логично. Появление мелких пор, дислокаций и трещин внутри материала в современной теории всегда связывалось с различного рода случайными процессами. Теперь же осталось сделать еще один шаг и предположить, что распределение всех этих дефектов по размерам — функция также случайная. Это означает, что исходно есть вероятность появления трещин любых размеров, но макротрещины могут появиться только там, где размеры образца это позволяют. В итоге по большому счету наука может сказать о М-эффекте лишь следующее. «Разрушение возникает в точке наиболее опасного дефекта, поэтому прочность зависит от вероятности попадания дефекта данного размера на испытываемую длину... Таким образом, можно ожидать, что чем больше база испытания (длина образца), **тем больше вероятность** (выделено мной. — С.С.) попадания на нее опасного дефекта и, следовательно, тем ниже полученная прочность» [5, с. 308]. Но вероятность — категория случайностная, следовательно, «при хрупком разрушении элемент случайности играет немалую роль» [1, с. 396].

Приведем несколько цитат из другого источника:

«В основу любой из известных сейчас статистических теорий хрупкой прочности положен принцип, по которому общее разрушение образца происходит при достижении средним напряжением «местной прочности» самого слабого «дефектного» места, т.е. принцип, по которому прочность всего тела определяется прочностью самого слабого места — «дефекта». Эти дефектные места, или дефекты, предполагаются статистически распределенными по всему объему образца, в котором они всегда присутствуют или появляются в процессе деформации) в силу неоднородности структуры, наличия примесей и включений и т.д. Поэтому все статистические теории объединяет общность качественных выводов и следствий из них. Основными из этих выводов являются следующие.

1. Существование закономерного рассеяния экспериментально определяемых значений хрупкой прочности.

2. Зависимость среднего значения хрупкой прочности от объема рабочей части нагружаемого тела... Следствием данного вывода является повышение прочности при переходе к более неоднородному напряженному состоянию (при сохранении размеров тела), например, при переходе от растяжения к изгибу.

3. Зависимость рассеяния характеристик прочности от размеров образца (рассеяние для мелких образцов всегда больше, чем при испытании крупных из одного и того же материала).

4. Затухающий характер зависимости среднего значения хрупкой прочности от размеров образцов, т.е. чем крупнее испытываемые образцы, тем меньше изменение прочности, а следовательно, наибольший масштабный эффект должен обнаруживаться при испытании малых образцов» [14, с. 19].

Если первые два вывода не вызывают сомнений, то два последних стоит рассмотреть более внимательно.

Во-первых, *случайное* появление крупной трещины на то и **случайное**, что она может появиться в детали, а может и нет. В этом случае, при массовом испытании образцов крупных размеров, часть из них имела бы нормальную прочность, а часть катастрофически низкую — ту, у которых *случайно* появилась большая трещина (рис. 4). Поэтому разброс значений истинной прочности был бы тем выше, чем крупнее образцы. Это противоречит п. 3 приведенной выше цитаты и экспериментальным данным. Исследования показали [14], что по мере увеличения размеров образцов *разброс значений их прочности уменьшается*. Следовательно, у более крупных образцов опасная трещина появляется не случайно, а **закономерно**. Зададим второй трудный вопрос: в чем же причина такой закономерности?

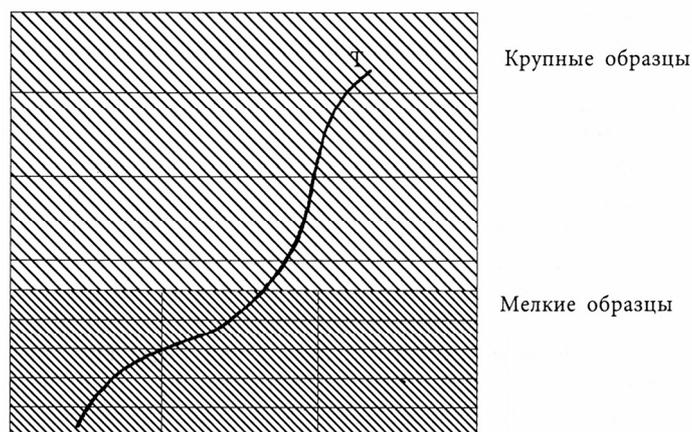


Рис. 4.

Пример вырезания из отливки с большой скрытой трещиной (Т) образцов для испытаний (▣ — крупных, ▤ — мелких). Все крупные образцы имеют скрытый дефект (Т). Только часть мелких образцов имеет скрытый дефект (Т)

Во-вторых. В некоторых лабораторных исследованиях выяснилось, что М-эффект действует не всегда, иногда его влияние исчезает на определенных масштабах [12, с. 40]. У автора есть некоторые основания предполагать, что действие М-эффекта при изменении размеров образца проявляется с определенной периодичностью — то проявляется, то исчезает. Другими словами, если сначала берутся образцы какого-то минимального размера а затем в серии экспериментов размеры образцов берутся относительно предыдущих больше на 10–30%, то разрушение их показывает: есть области масштабов, на которых М-эффект проявляется, а есть такие области, где прочность по мере увеличения размера образцов не падает (рис. 5). Возникает трудный вопрос: почему случайное появление трещин закономерно избегает вполне конкретных масштабных интервалов?

В-третьих. Часто встречающийся вывод о затухании М-эффекта по мере перехода к более крупным образцам (п. 4 из вышецитированного источника) является общераспространенным заблуждением (мифом) в среде специалистов по прочности материалов. Исследование различной литературы показало, что нет никаких серьезных экспериментальных данных, которые бы свидетельствовали, что М-эффект практически исчезает при увеличении образцов. Да и статистическая теория не может дать никакого объяснения *гипотезе*, согласно которой почему-то при переходе какой-то границы вероятность появления трещины данного масштаба резко уменьшится, а затем исчезнет вообще.

Ниже мы еще раз вернемся к этому распространенному заблуждению и попытаемся дать логическое объяснение его появлению в умах специалистов. Здесь же

отметим, что возможны две причины распространения этого мифа. Первая заключается в том, что М-эффект действительно на время может ослабевать при увеличении размеров образцов (см. рис. 5). Стоит, однако, провести испытания на образцах в 10 раз (не меньше) крупнее, чем те, на которых М-эффект якобы полностью исчезает, как он должен, по мнению автора, появиться вновь. Однако на испытания со столь крупными образцами исследователи, как правило, не имеют средств и поэтому делают ошибочные выводы. Вторая причина распространения мифа об исчезновении М-эффекта, видимо, кроется в чисто подсознательном желании уйти от следующей экстраполяции: *М-эффект снижает прочность по мере роста размеров тел до тех пор... пока уже снижать будет нечего, т.е. до практически полной потери прочности.* Согласитесь, что столь радикальный вывод может вызвать весьма сильное сопротивление. А ведь этот вывод автоматически следует из теории Вейбулла. И в результате получается, что справедливость теории Вейбулла признается большинством специалистов лишь в той области масштабов, в которой это удобно.

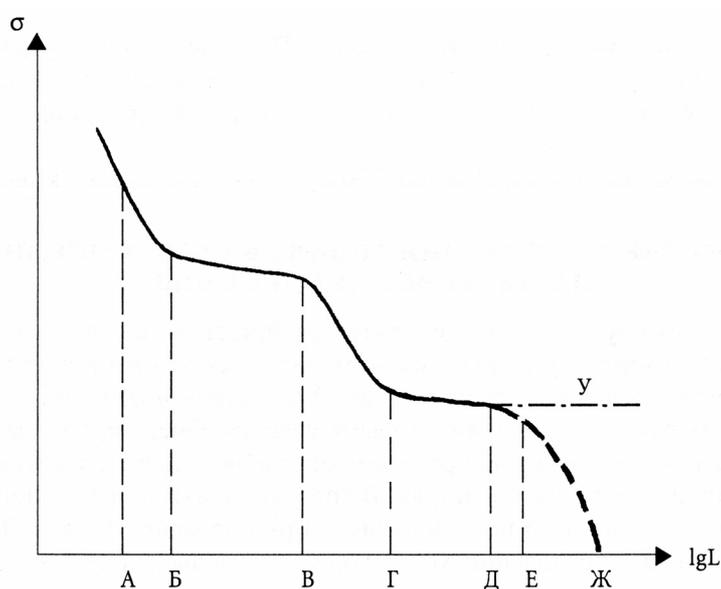


Рис. 5.

- Условная диаграмма падения прочности (σ) в зависимости от размера тела (L).
 (А–Д) — область размеров образцов, доступная экспериментальному исследованию.
 (А–В), (В–Г), (Д–Ж) — области размеров, на которых проявляется М-эффект.
 (Б–В), (Г–Д) — области размеров, на которых М-эффект почти не проявляется.
 У — условная зависимость (σ) от (L), в которой экстраполируется участок (Г–Д).
 (Д–Ж) — предполагаемый автором характер понижения прочности в области мегамасштабов.

Предположение об исчезновении М-эффекта в области мегамасштабов явно противоречит логике и методологическим принципам современной науки, поэтому, как минимум, это предположение должно быть строго теоретически и экспериментально проверено, а не декларироваться без серьезных на то оснований.

Очевиден и общесистемный недостаток традиционного объяснения М-эффекта. Ведь случайное появление крупных трещин, предсказать появление которых невозможно, вносит элемент хаоса в область, которая влияет на судьбы многих людей. Получается, что случай вращает гигантский барабан и никто из пассажиров крупного судна или самолета не знает, когда вместо холостого выстрела прогремит настоящий.

А как же быть с проблемой 100% безопасности всех конструкций?

4.

ОБОБЩЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ М-ЭФФЕКТА НА СОСЕДНИЕ МАСШТАБНЫЕ ДИАПАЗОНЫ

Проблема изучения М-эффекта заключается еще и в том, что прочность и характер разрушения всех материалов определяются в лабораторных исследованиях на стендах. В основном исследуются образцы миллиметрового или сантиметрового сечения. Очень проблематично проводить исследования на прочность образцов сечением десятки сантиметров не говоря уже о метрах. В литературе автору не удалось обнаружить сведения и об исследованиях образцов менее 1 мкм. Поэтому все знания о проявлении М-фактора накоплены для деталей с размером в основном в диапазоне от долей миллиметров до сантиметров.

Как уже выше упоминалось, характер поведения М-фактора часто бывает таким, что падение прочности постепенно уменьшается по мере перехода в области больших размеров. Создается иллюзия, что М-эффект как бы сходит там на нет и прочность стремится к некоторому минимальному порогу.

Поскольку затраты на эксперименты в области образцов метровых и больше размеров очень велики, а эксперименты в области размеров менее 10 мкм трудноосуществимы, то единственным доступным путем изучения этой проблемы является косвенный путь логического анализа похожих явлений в соседних масштабных диапазонах. Для этого рассмотрим *тенденции* изменения прочностных характеристик различных материалов в предельно широком диапазоне масштабов: от 10–8 до 10⁹ см — от атомов до Земли.

Построим качественную диаграмму «масштаб — прочность» (рис. 6). На диаграмме показано, что М-эффект исследован в основном в узкой полоске, размер которой примерно от 10⁻³ до 10⁰ см. Рассмотрим, существуют ли явления, подобные М-эффекту в меньших и больших масштабах?⁴

ЛЕВЫЙ ДИАПАЗОН (от 10–8 см). Анализ показывает, что слева на М-оси действительно существует явление, которое хотя и не связывается наукой напрямую с М-эффектом, но по своему характеру аналогично ему. Речь идет о таком понятии, как «теоретическая прочность» материалов.

«Прочность при абсолютно хрупком разрушении (абстрактное понятие) обычно называют «хрупкой прочностью». Казалось бы, что именно в случаях хрупкого разрыва, когда сведены к минимуму все вторичные явления, связанные с пластической деформацией, должны получаться значения прочности, близкие к тем, которые могут быть вычислены из значений межатомных связей твердого тела. Однако прочность, найденная из опыта, оказывается в 100–1000 раз меньше, чем расчетная. Значительное расхождение расчетных данных с экспериментальными привело к появлению терминов — «теоретическая прочность» и «техническая прочность». Большая разница между теоретической и технической прочностью объясняется тем, что реальные кристаллы не обладают идеальным строением кристаллической решетки, какое предполагается при расчете теоретической прочности.

Дефекты внутреннего строения тела в соответствии с теорией Гриффитса... можно представить себе в виде трещинок, расположенных внутри напряженного объема тела» [14, с. 16–17].

⁴ Для диаграммы можно говорить о соседнем диапазоне слева (от 10⁻⁸ до 10⁻³ см) и справа (от 10⁰ см до 10⁸ см). Будем при этом рассматривать общую тенденцию изменения прочности в процессе продвижения слева направо, т.е. по мере условного роста любого тела.

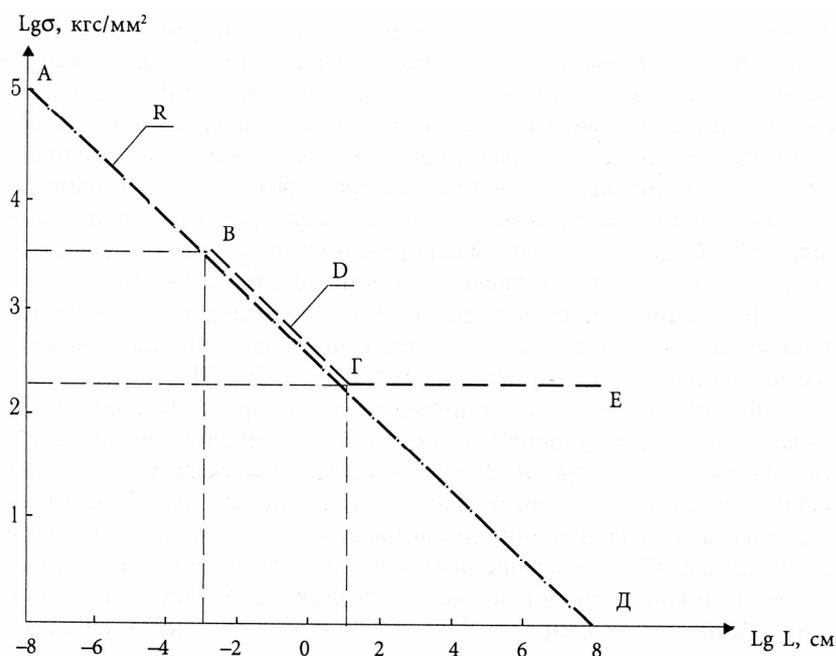


Рис. 6.

Качественная диаграмма зависимости прочности (σ) от размера тела (L);
 - - - - D — кривая, отражающая традиционное представление об М-эффекте;
 - · - · - R — зависимость σ от L (по предложению автора);
 АВ — постепенное понижение прочности от атомных размеров до микрон (модель автора);
 ВГ — достоверно установленный характер понижения прочности вследствие М-эффекта;
 ГЕ — гипотетическая зависимость σ от L в области мегамасштабов (традиционный подход);
 ГД — понижение прочности до предельного минимума (модель автора).

Приведенная цитата из монографии по материаловедению показывает, что потери прочности начинаются не с области масштабов в доли миллиметра, а гораздо раньше — с атомарных масштабов. От ангстрем до миллиметров прочность падает в сто (тысячу) раз, а от миллиметров до сантиметров она понижается еще в несколько раз. Сопоставление двух явлений — М-эффекта и отклонения технической прочности от теоретической позволяет нам сделать вывод об их общей природе. Ведь и там и там прочность снижают дефекты.

Почему же в литературе нет общего описания этих двух явлений? Причин, по мнению автора, несколько. Первая: не удавалось экспериментально проверить прочность образцов, диаметр которых начинался бы с 10^8 А и заканчивался бы микронами. Поэтому, неявно полагается, что прочность скачком падает в несколько раз с масштабов 10^{-8} см до масштабов 10^{-4} см и лишь после микронных масштабов она начинает уменьшаться плавно по мере увеличения размеров (зависимость D на рис. 6). Автор утверждает, что данное представление — ошибочно. Если бы удалось провести соответствующие эксперименты, то средний характер зависимости прочности от размера образца был бы такой же, как и в области $10^{-3} \dots 10^1$ см (зависимость R на рис. 6). Другими словами, М-эффект начинает действовать от атомных масштабов.

Вторая причина, почему в литературе отдельно рассматриваются явление М-эффекта и теоретическая прочность, чисто методологическая. Большинство специалистов в области теоретического материаловедения погружены в свои узкие профессиональные проблемы. М-эффект для них если и известен, то относится к области других дисциплин. С другой стороны, практики и теоретики по сопротивлению материалов стараются не работать в области, где есть свои авторитеты

по материаловедению. Т.о. узкая специализация не позволяет посмотреть на данное явление масштабно широко.

Возвращаясь к проблеме теоретической прочности, повторим, что причиной понижения прочности являются многочисленные дефекты структуры материалов (поры, дислокации, трещины и т.п.). Дефекты же, как считает современная наука о материалах, явление случайное⁵, своего рода результат технологических погрешностей. Поэтому в XX веке были предприняты многочисленные попытки получить реальные материалы без дефектов — с теоретической прочностью. В этом направлении кое-что удалось сделать, но оказалось, что полностью от дефектов избавиться не удастся никак и затраты на их устранение растут быстрее, чем выгода от повышения прочности.

Итак, если подвести итог, то можно сделать вывод — прочность всех материалов падает с увеличением размеров тел, начиная от атомарных масштабов. Поэтому нет никаких оснований считать, что она перестанет падать тогда, когда мы выйдем на масштабы большие чем сантиметры.

ПРАВЫЙ ДИАПАЗОН (от 10 см и более). Специалисты в области прочности рассматривают М-эффект как явление масштабно-локальное, присущее только размерам, близким к сантиметровому диапазону. Специалисты полагают, что за пределами размеров испытанных образцов, в области масштабов более десятков сантиметров и далее, влияние М-фактора постепенно исчезает и уменьшение прочности прекращается по мере увеличения размеров тел (зависимость D). Повторим, что для такого предположения нет никаких экспериментальных оснований. Более того — логично предположить, что по мере увеличения размеров тел их прочность продолжает падать. И, при достижении каких-то значительных масштабов, она может уменьшиться до очень маленьких значений. А поскольку данный вывод выглядит весьма необычным, рассмотрим фактические данные из области масштабов более 10 см.

Поставим вопрос, есть ли справа от сантиметрового диапазона на масштабной оси известное науке явление, которое можно было бы связать с М-эффектом?

Поскольку речь идет о метровых и километровых размерах, то это уже масштабы земной коры, литосферы. Как известно, литосфера состоит из полутора десятка плит. Их размеры — порядка 108–109 см. Считается, что плиты — относительно целостные образования, которые имеют собственную динамику движения. Следовательно, нет целой земной коры, она разделена, как минимум, на 15 отдельных частей, связь между которыми обуславливается силами трения. Однако представление о земной коре как о чем-то цельном, наподобие арбузной корки, живет в геофизике до сих пор. И уж во всяком случае, представление о целостности относится к плитам. Лишь в некоторых «еретических» работах вспоминается, что «уже в начале века существовало представление, что реки на платформах текут по разломам, разделяющим консолидированные блоки земной коры. Структура «колотога льда» соединяющих платформу блоков определяет характер залегания пород осадочного чехла и составляет основу учения о фациях» [17, с. 8]. В такой модели Земля покрыта отдельными «льдинами» (рис. 7), размеры которых теоретически можно определить в диапазоне сотен и тысяч километров [9]. Относительно недавние исследования [7] этого вопроса коллективом ИФЗ под руководством М.А. Садовского методами статистической обработки экспериментальных данных привело к такому же выводу относительно масштабов наиболее распространенных блоков.

⁵ Это еще один миф, который автор постарается развенчать далее.

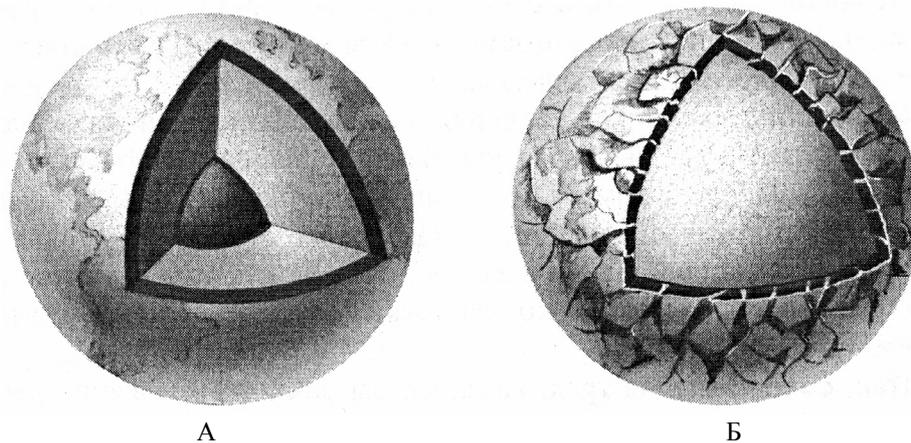


Рис. 7.

Модель классического представления о земной коре (А) и модель «колотый лед» (Б)

На основании всех этих данных и теоретических расчетов можно предполагать, что за границами масштабов таких плит (107–108 см) тела вообще теряют свою прочность из-за существования М-эффекта (зависимость R на рис. 6). Т.е. падение прочности не останавливается за порогом десятков сантиметров, а продолжается вплоть до сотен и тысяч километров, где прочность практически сходит на нет. И если это так, то плиты земной коры не соединены прочностными связями, а лежат рядом, как раскрошившийся лед лежит на водной поверхности. Естественно, что в этом случае совокупная прочность поверхности Земли на порядки ниже той, которую рассчитывают теоретики. Той, на которую рассчитывают практики. И, образно говоря, у земной коры, как целого объекта, реальной прочности практически нет.

У И.Н. Яницкого есть своя версия объяснения забвения в геофизике учения о фациях: «...Любые разговоры о современных или даже кайнозойских разломах на древних платформах воспринимались геологической общественностью неоднозначно. Более всего это касалось инженерной геологии. Еще бы — это требовало более детальных изысканий при строительстве, приводило к необходимости редактирования нормативных документов. А главное — это рушило бытующие представления о стабильности, консолидированности и прочих элементах стационарного бытия... По этим причинам современные разломы на платформах не только как бы «ушли в подполье» — они были исключены вскоре из всех источников геологической информации, а также из инструкций-методик по составлению тектонических карт. А если кто-то из геологов-съемщиков по объективным макро-фациальным и другим признакам документировали такой разлом, то, в лучшем случае, эту «ошибку» предлагали исправить изменением индексации на «консолидированный линеамент» [17, с. 8].

Скорее всего, причины забвения разломов, которые приводит И.Н. Яницкий, вполне справедливы. При этом можно добавить еще одну причину: в современной теории прочности минеральных пород нет модели, объясняющей причину существования фаций. Земная кора очень *большая*, поэтому ее прочность, как полагают большинство геофизиков, не может быть пренебрежительно *маленькой*. В этом — чисто психологическая проблема. Действительно трудно представить, опираясь только на привычные представления, что столь грандиозная система, как поверхность Земли, не имеет на масштабах сотен километров прочности вообще. Трудно поверить даже после того, как научный совет по прикладной геофизике при Президиуме Российской АН в 1991 г. сделал следующее заключение:

«4. Являясь аналогом рентгеновского «просвечивания», крупномасштабное гелиевое зондирование позволило увидеть детали блокового строения земной коры (в том числе на платформах) в современном динамическом режиме их развития. Ближе всего такая структура напоминает *колотый лед* на поверхности водоема с волновыми колебательными движениями» [17, с. 56].

Незнание М-эффекта в среде геофизиков сказывается, судя по работе И.Н. Яницкого, очень заметно. Мы же отметим, что представление об М-эффекте, как общем явлении природы, свойственном всем без исключения масштабам, начиная от атомных и заканчивая планетарными, приводит к выводу о неизбежной раздробленности земной поверхности. Приводит путем простейшей экстраполяции этой тенденции из микромира в мегамасштабы. Насколько правомочна такая экстраполяция — вопрос. Но не рассматривать ее вообще — опасно для всего человечества, а не только для науки геологии. Почему, мы расскажем чуть ниже.

Итак, сопоставление трех, казалось бы различных, явлений: масштабного эффекта в макродиапазоне диаграммы, «теоретической прочности» в микродиапазоне и раздробленности земной коры в мегадиапазоне показывает их единую основу — падение прочности любых материалов по мере увеличения их размеров. Все эти три явления можно называть общим термином — «глобальный масштабный эффект».

5. КЛАСТЕРНО-ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ М-ЭФФЕКТА

Отметим, что как для объяснений отклонений от теоретической прочности, так и для объяснений М-эффекта (для обоснования причин подвижности литосферных блоков) наука опирается по сути дела на одно явление — дефекты в структуре. На микроуровне — это микродефекты, на макроуровне — трещины, на мегауровне — разломы. Причем, теоретическое объяснение появления дефектов для всех трех уровней масштабов однотипное — ответственной за их появление считается исключительно игра случайных сил, флуктуационные процессы.

Я в принципе не согласен с такой моделью. Считаю, что за все виды дефектов в структуре материалов, начиная от молекулярных размеров и заканчивая масштабами земной коры, ответственна кластерно-иерархическая структура организации вещества. Рассмотрим предложенную модель в самых общих чертах в сравнении с традиционным подходом.

Традиционный подход материаловедов к проблеме прочности материалов опирается на следующие положения:

1. При образовании кристаллической решетки из жидкой фазы атомы стремятся расположиться в узлах кристаллической решетки, которая представляет из себя регулярную трехмерную структуру, обладающую трансляционной симметрией (рис. 8).

2. Существует ограниченное количество правильных видов упаковок атомов, описываемых 230-ю пространственными группами симметрии кристаллических структур.

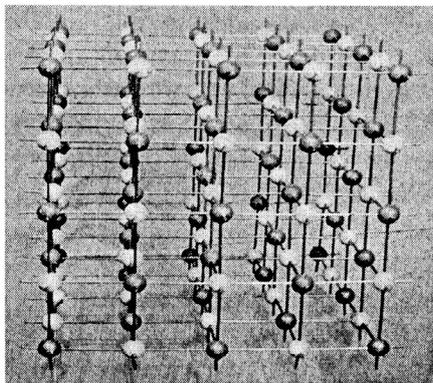
3. В правильных упаковках разрешены оси симметрии 2-го, 3-го, 4-го и 6-го порядков. Запрещены другие оси симметрии, например 5-го и 7-го порядков.

4. Прочность любого тела определяется силами связи между его атомами.

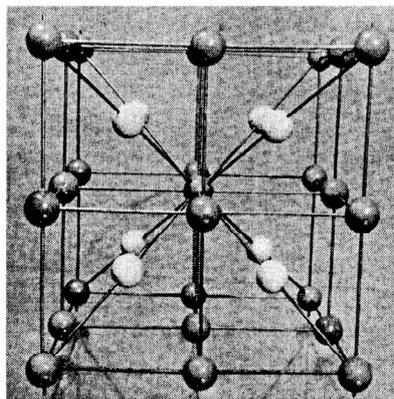
5. Процесс образования реальных кристаллов подвержен воздействию множества факторов, которые искажают идеальную структуру кристалла.

6. Искажающие решетку воздействия носят случайный характер, поэтому распределение дефектов внутри тела имеет также случайный характер.

7. **Количество и величина дефектов настолько велики, что снижают потенциальную прочность материала в сотни раз.**



I
Модель структуры NaCl



II
Модель структуры CsCl

Рис. 8.

Если обобщить (до идеологии) вышесказанное, то можно написать: природа имеет идеальный план построения структуры тел, но случайные факторы нарушают идеальный замысел природы.

Однако за последние десятилетия накоплено множество новых фактов о процессах формирования кристаллических тел, которые ставят под сомнение традиционное представление о существовании именно такого «идеального плана» природы. Скорее всего, в ее планы входит и другой идеальный порядок, который отличается от регулярного и не совместим с ним.

Намек на другой идеальный план дает обнаружение в самых различных структурах (особенно бурно — начиная с 70-х годов) так называемых микрокластеров из атомов. По наиболее принятому определению микрокластеры — это микроскопические агрегаты, содержащие от нескольких атомов до нескольких сот атомов, которые слишком большие для того, чтобы их можно было описывать как неорганические молекулы, но слишком маленькие, чтобы иметь трансляционную симметрию. Их обнаруживают в вакуумных камерах, куда инжектируются атомы различных металлов [18] внутри всех металлических тел [4], на поверхности подложек, куда осаждаются различные материалы из газовой фазы. Проблема кластеров приобрела такое значение, что в 1986 году в Токио был проведен 1-й международный симпозиум, посвященный их изучению⁶.

Как показали многочисленные исследования, атомы в микрокластерах располагаются в таком порядке, который не встречается в регулярных структурах. Поэтому на поверхности микрокластеров часто обнаруживаются запрещенные оси симметрии, например 5-го порядка. Кроме того, в микрокластерах свойства материала существенно отличаются от его свойств при реализации идеальных решеток. Так, например, расстояния между атомами в микрокластерах отличаются от

⁶ The 1st NEC Symposium of Fundamental Approach to New Material Phases Microclusters. Oct. 20–23, 1986, Tokio.

расстояний между такими же атомами в кристаллической решетке. В целом же установлено, что в микрокластерах свойства материалов сильно отличаются от свойств, которые приписывались прежними теориями.

Более того, постепенно выяснилось, что микрокластеры — явление, широко распространенное в природе. Так, Ю.И. Петров, изучая кластеры и малые частицы в структуре металлов [4], пришел к выводу, что любой металл содержит в своей структуре (в той или иной мере выраженные) кластеры и малые частицы. Под малыми частицами Ю.И. Петров подразумевает метакластеры, поскольку оказалось, что не только атомы образуют агрегаты, но и агрегаты стремятся к образованию метаагрегатов. Кроме того, Ю.И. Петров отмечает, что «любая теория плавления, основанная на модели идеальной решетки... не удовлетворительна, т.к. предсказываемая ею точка плавления большинства элементов оказывается примерно в 3,5 раза выше наблюдаемой» [Там же, с. 222], в то время как кластерный подход дает результат, близкий к реальному. Становится ясно, что без кластерного подхода невозможно дальнейшее развитие представлений о свойствах любых материалов.

Одним из наиболее ярких представителей типичной кластерной структуры является додекаэдр (рис. 9). «В свое время Франк... предположил существование в жидкостях 13-атомных группировок, имеющих форму правильного додекаэдра.

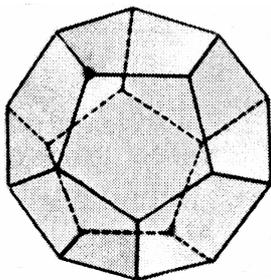


Рис. 9.

Такая конфигурация атомов отличается от ГЦК- и ГПУ-структур наличием осей симметрии 5-го порядка, а это, как известно, не допускает возможности трансляционного построения бесконечной решетки без разрывов и пустот» [4, с. 221]. Как и у додекаэдра, так и у любой другой кластерной структуры есть одно принципиальное отличие от структур решетчатого типа — центр симметрии. Центральная симметрия предполагает, что все окружающие центр атомы расположены таким образом, что угол поворота вектора, направленного из центра в периферийный атом, остается инвариантным. При этом, вокруг центра образуется

слой атомов, удаленных от него на одинаковое расстояние. Такой принцип симметрии не выдерживается при построении идеальных решеток, и наоборот — при построении кластеров не сохраняется трансляционная симметрия идеальных решеток. Можно говорить о том, что центральная симметрия упаковок кластеров и трансляционная симметрия упаковок решеток — антагонистичны в трехмерном пространстве — реализация одного вида симметрии нарушает другой вид.

В 80-х годах я пришел к выводу, исследуя проблему образования кластеров, что свойство образовывать кластеры присуще всем без исключения материалам. И это является следствием универсального действия на все тела центральной симметрии. А поскольку в структуре любого тела можно обнаружить как признаки трансляционной симметрии (идеальной решетки), так и признаки центральной симметрии (кластеры), то можно считать, что любое тело формируется под одновременным воздействием двух видов симметрий. Но эти виды симметрий взаимно исключают друг друга при воздействии на один материал, поэтому **любое реальное тело — это компромисс между двумя видами порядка и симметрии, между трансляционной симметрией повтора и центральной симметрией.**

Другой вывод заключается в том, что не только атомы стремятся образовывать кластеры, а кластеры — метакластеры, но и метакластеры стремятся организоваться в мета-метакластеры и т.д. Другими словами, в структуре любого материала присутствуют (в той или иной степени выраженности) кластеры всех воз-

можных уровней иерархии — от атомных вплоть до уровня самого тела (рис. 10). И наибольшим кластером на Земле является сама Земля, состоящая из мегакластеров размерами с литосферные плиты, литосферные плиты состоят из кластеров более низкого уровня — блоков земной коры и т.д. вплоть до атомного уровня. Правда степень проявленности кластеров на различных уровнях иерархии разная. Некоторые можно обнаружить по их выраженным границам, а другие могут существовать лишь в виде «пунктирного намека» — в виде напряжения в определенных областях кристаллической решетки, точечных дефектов и т.п.

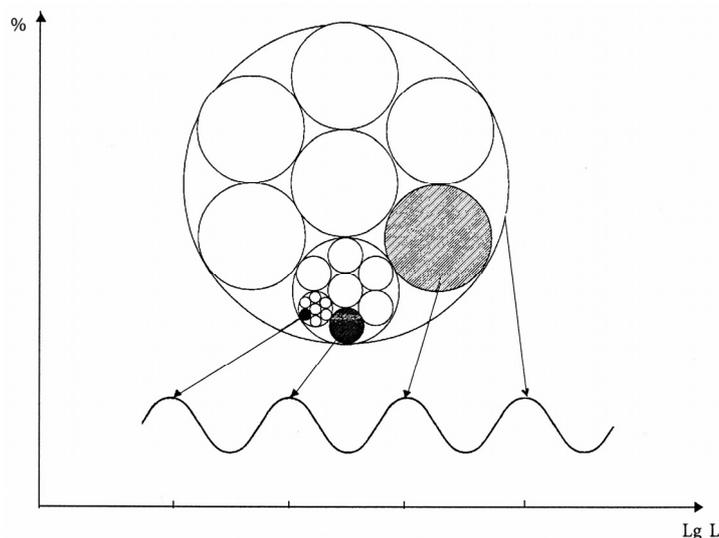


Рис. 10.

Схема мультимодального распределения встречаемости тел в природе в зависимости от их размера. Мультимодальность обуславливается повышенной устойчивостью к разрушению кластеров всех уровней.

Еще один вывод, сделанный автором ранее, заключается в том, что кластеры в природе бывают, как минимум, двух принципиально различных видов. Первые — *позиционные*. Таковы кластеры, которые имеют число атомов от нескольких штук до сотни и чуть больше. Каждый атом в таких кластерах «на счету». Изъятие его или прибавление избыточного атома резко нарушает симметрию, и следовательно, устойчивость кластера. Такие кластеры образуются в основном внутри материалов с ковалентной (жесткой) связью атомов. Ярким примером такого рода кластеров являются микрокластеры, получаемые в вакууме из свободных атомов. В множестве проведенных экспериментов выяснилось, что часть конфигураций обладает резко выраженной повышенной устойчивостью по отношению к остальным конфигурациям. Числа атомов, образующих наиболее устойчивые конфигурации, получили название «магические числа». Для различных элементов магические числа имеют разные значения: например, для углерода — это кластеры с $n = 7, 11, 15, 19$ и 23 атомами [18], для ксенона $n = 13, 19, 23$ и 25 атомов [19].

Второй вид кластеров — *энергетические*. В этих кластерах число атомов — порядка тысячи, расположение атомов в кластере — статистическое. Главный принцип их устойчивости, по версии автора, заключается в том, что внутренняя энергия должна быть сравнима с внешней, поверхностной. Именно этим обеспечивается устойчивость таких кластеров. Энергетические кластеры образуются в основном в материалах с металлической связью. Изъятие или прибавление одного (или нескольких) атомов для энергетического кластера не является критичным и не изменяет скачком его устойчивости. В монографии Ю.И. Петрова [4] в основном рассмотрены именно такого рода кластеры.

Исходя из принципа масштабного подобия, можно предположить, что если позиционные кластеры (которые состоят из десятков атомов) образуют метакластеры, то в них входят единицы и десятки атомных кластеров. Если же статистические кластеры образуют метакластеры, то число их в метакластерах достигает тысячи и более.

Сделанные выше выводы можно проверить различными способами.

В свое время автором был выбран следующий метод экспериментальной проверки — анализ характера распределения по размерам продуктов дробления различных минералов. Основная идея заключалась в следующем. Поскольку симметричные кластеры устойчивее, чем промежуточные агрегаты из атомов (или кластеров), то в процессах дробления исходного материала будут «выживать» в первую очередь именно кластеры (различных уровней). А так как любой кластер, по моему предположению, строится начиная с атомов (или молекул) для каждого материала одинаково даже при различных условиях формирования тел, то увеличение размеров на каждом очередном шаге кластерного формирования — инвариант для данного материала. Отсюда следует, что внутри любого материала существуют устойчивые агрегаты вещества, размеры которых неизменны. Другими словами, для каждого материала можно установить свой иерархический ряд устойчивых размеров, начинающийся на ангстремных масштабах, а заканчивающийся в области миллиметров (для горных пород — в области тысяч километров). Поэтому если построить функцию распределения устойчивости от размеров систем, то она будет мультимодальной. Моды соответствуют размерам устойчивых кластеров и метакластеров. Предполагая, что существует множество непрерывных уровней иерархии, на М-оси можно обнаружить в распределении устойчивости несколько вершин, соответствующих параметрам полностью сформировавшихся кластеров (см. рис. 10). Эти моды и было решено найти в распределении по размерам продуктов дробления различных абразивных минералов (карбида кремния, электрокорунда, алмаза и т.п.)⁷.

Обнаружить мультимодальность с шагом от 2 до 5 можно, рассеивая дробленный материал на ситах (шаг размеров ячеек которых достаточно мал, чтобы быть чувствительным к таким периодам устойчивости). Сита, которые использовались в СССР в период постановки экспериментов, имели средний шаг — 1,21. В начале 80-х мне удалось осуществить проверку этого предположения, поставив поисковую тему по выяснению наличия устойчивых размеров в абразивных материалах, таких как карбид кремния (SiC) и электрокорунд (Al₂O₃). Результаты лабораторных исследований показали, что действительно существуют устойчивые размеры для карбида кремния и других минеральных материалов [16]. Эти устойчивые размеры совершенно не зависят от способа дробления материала, от номера плавки или других условий (рис. 11). Чтобы исключить погрешности ситового анализа, эти результаты впоследствии были перепроверены с помощью компьютерного анализа, когда десятки тысяч случайно отобранных зерен материала фотографировались и их изображение вводилось в память компьютера, где их геометрические параметры потом подвергались статистической обработке (рис. 12). Резуль-

⁷ Теоретически можно предположить, что шаг между вершинами мод в мультимодальном распределении кластеров по размерам будет зависеть от характера конфигурации кластерного образования конкретного иерархического уровня. При этом, для минералов (ковалентные связи и позиционные кластеры) следует ожидать шаг порядка 2...5, в среднем — близким к тройке. На М-оси (десятичных логарифмов) шаг в 3,16 примерно соответствует 0,5 порядка (см. рис. 8). Если же образуются энергетические кластеры, то, исходя из количества атомов в них (около тысячи), увеличение модам через один порядок (т.к. $\lg 10 = 1$).

таты в виде сотен гистограмм подтвердили идею: в минералах действительно присутствуют более устойчивые образования по сравнению со средним фоном [10]. Их размеры — инвариантны относительно происхождения материала и способа разрушения материала. Исследования ряда других минералов (результаты которых не опубликованы) показали — мультимодальное распределение устойчивости свойственно алмазам, граниту, мрамору и ряду других минералов.

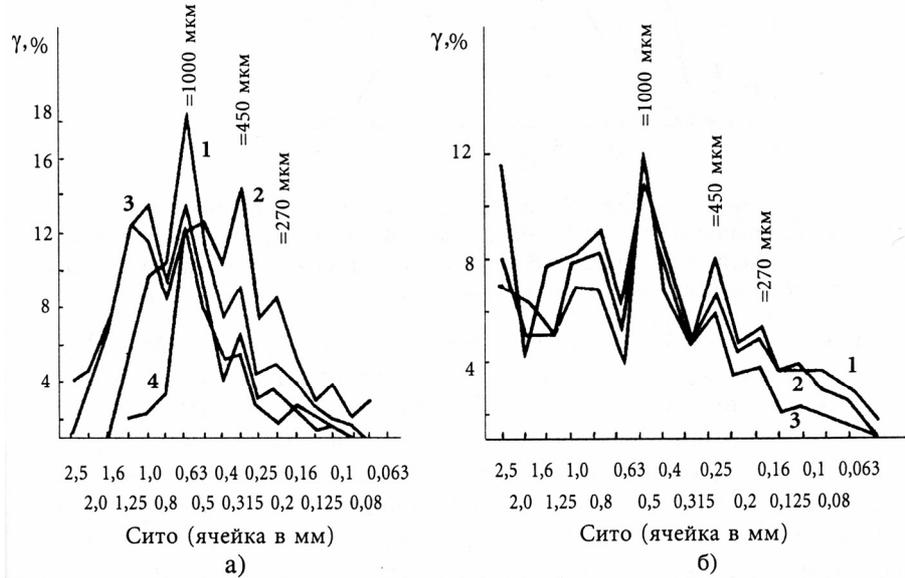


Рис. 11.

а) Распределение размеров частиц черного карбида кремния, измельченного в стержневых мельницах. Выход фракций измельченного материала с верхней предельной крупностью частиц соответственно 1,12 (1), 1,74 (2), 2,8 (3), 3,42 мм (4).
 б) Распределение размеров частиц черного карбида кремния, измельченного свободным ударом (в центробежно-роторной дробилке) с верхней крупностью частиц 1,6 мм. Выход фракций измельченного карбида кремния зон кристаллизации: периферической (1), среднекристаллической (2), прикромной (3).

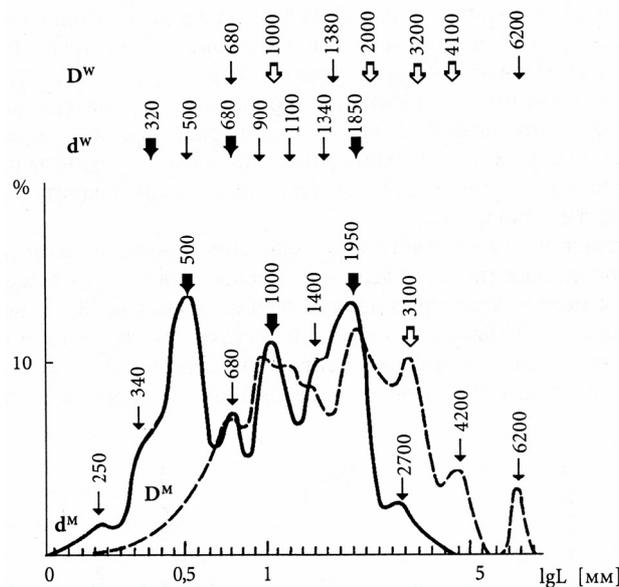


Рис. 12.

Сглаженные гистограммы распределения зерен SiC промышленного производства по минимальному (d^M) и максимальному (D^M) диаметрам в сравнении с основными модами W-материала (вверху). Большими стрелками указаны главные моды гистограммы, малыми — второстепенные.

Пытаясь найти физическое обоснование такого мультимодального распределения (по сути дела — макроквантованности вещества), я пришел к модели кластерно-иерархических упаковок [8]. В ней предполагается, что наряду с симметрией регулярных упаковок в природе действуют законы симметрии центросимметричных упаковок. Если первый вид симметрии ведет к образованию открытых и регулярных структур, то второй вид симметрии приводит к образованию отдельных замкнутых конфигураций, которые представляют собой некоторую самостоятельную отдельность с единственным центром симметрии. В случае доминирования симметрии регулярной решетки рост тела происходит гладко и плавно. В случае доминирования симметрии кластеров — скачками: как только количество атомов достигает устойчивой конфигурации, происходит свертка, образуется кластер очередного уровня, и далее уже структура строится из этих кластеров. Во втором варианте строения тел кластер любого уровня состоит из субкластеров нижнего уровня, а сам при этом входит в метакластер более высокого уровня. Такая организация структуры вещества описывается симметрией подобия. Симметрия подобия — особый вид симметрии, принципиально отличающийся от симметрии повтора [15].

При этом пространство так устроено, что идеальная реализация одного вида порядка нарушает идеальную организацию другого вида упаковок. Кластеры нарушают дальний порядок, их появление приводит к сдвигам и дефектам в кристаллической решетке. А построение идеальной кристаллической решетки раскрывает кластеры, не дает им образовываться. Поэтому **любое реальное тело — это компромисс между двумя видами порядка и симметрии, между симметрией повтора и симметрией подобия.**

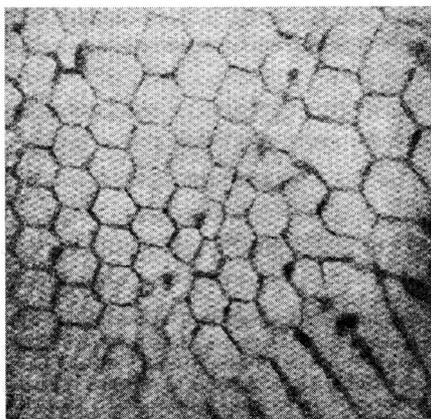


Рис. 13.

Дислокационная сетка в нормализованном железе
(электронная микрофотография, $\times 50\,000$) [13, с. 60]

Итак, исследования распределения зерен минералов по размерам косвенно подтвердили идею, что процесс кластерообразования действует в диапазоне от 10 до 1000 мкм. Если же еще учесть, что кластеры экспериментально выявлены вплоть до размеров 1000 А [4, с. 22], то можно увидеть, что на М-оси кластеры распространены на первых трех порядках после атомных размеров и еще на трех порядках после 10–3 см. Существуют ли кластеры в диапазоне размеров от 10–5 до 10–3 см? Известно, что в данном диапазоне размеров часто обнаруживаются дислокационные сетки (рис. 13) и зерна микронных размеров. Поэтому можно провести интерполяцию и в этом диапазоне, полагая, что за краевые дислокации несет ответственность процесс кластерирования вещества на рассматриваемых

масштабах. Следовательно, можно считать, что ряд кластеров образует непрерывную последовательность, начиная с атомных и заканчивая миллиметровыми размерами. Более того, можно предположить, что все субструктуры любых материалов, *включая зерна металла* — не что иное, как кластеры определенного уровня. Зерна же, как известно [2, с. 29], неотъемлемая часть структуры любого металла. При этом кроме зерен в металле есть субзерна и т.п. Следовательно, на уровне зерен металлов мы уже сталкиваемся с кластерами как минимум 5-го уровня, а на уровне зерен минералов — с кластерами 10-го уровня⁸.

Однако в предложенной автором модели [8] кластерообразование не заканчивается на уровне зернистой структуры материала, а продолжается вплоть до масштабов таких тел, как планеты, в частности Земля. Это предположение косвенно подтверждают работы группы М.А. Садовского [6]. Устойчивые размеры геологических отдельностей обнаружены в них от сотен метров до сотен километров. Единственное логичное объяснение существования устойчивых отдельностей такого масштаба с инвариантными (относительно их нахождения в литосфере) размерами, с точки зрения автора, это действие механизма кластерообразования (следовательно, центросимметричной симметрии) на геологических масштабах.

Итак, мы утверждаем, опираясь на все вышеперечисленные факты, что **квантованность размеров по устойчивости (= частоте встречаемости) присутствует в природе начиная от атомов и заканчивая Землей, а процесс кластерообразования — явление масштабно-инвариантное в диапазоне размеров от 10⁻⁸ см до 10⁹ см — на 17 порядках М-оси.** Следовательно, как любые геологические отдельности, так и зерна в структуре материалов следует рассматривать как всего лишь кластеры определенного уровня иерархии⁹.

Рассмотрим глобальный М-эффект, опираясь на предложенную здесь модель кластерно-иерархического строения вещества. Что нам дает нового в понимании проблемы прочности материала?

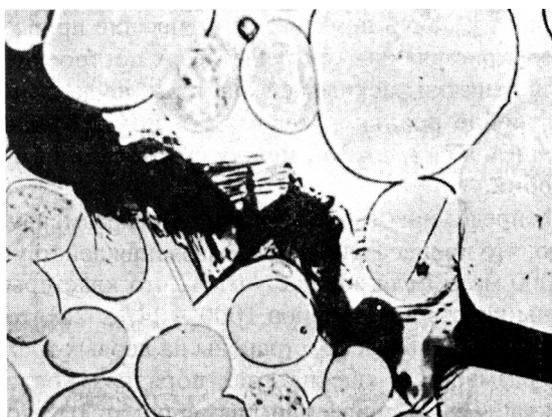


Рис. 14.
Путь разрушения в сплаве 85W–15(7Ni/3Fe)
(преимущественно через матрицу). × 1000 [1, с. 494]

⁸ Правда, зерна в металлах имеют практически непрерывную градацию размеров в диапазоне от микрон до миллиметров, а модель предполагает наличие выделенных наиболее устойчивых размеров зерен с шагом от 3 до 10. Это противоречие между моделью и реальной структурой металлов требует развития модели.

⁹ Кстати, такое предположение ведет к очень плодотворному методологическому выводу: те знания, которые накопили физики об атомных кластерах, можно с некоторыми поправками использовать как для анализа зернистой структуры материалов, так и для анализа блоков земной коры.

Первое. Модель подсказывает, что практически все дефекты внутри материала расположены не хаотично, а на границах кластеров (см. рис. 14). Следовательно, разрушение материала происходит вдоль границ кластеров. Очевидно, что чем меньше размеры кластеров, тем меньше граничные области, тем меньше размеры дефектов и трещин. И наоборот, чем больше кластеры, тем больше размеры трещин и дефектов на их границах (рис. 15). Поэтому мелкозернистые (мелкокластерные) материалы в общем являются более прочными (при прочих равных условиях), чем крупнозернистые. Этот вывод прекрасно согласуется с практикой получения легированных сталей и композиционных материалов.

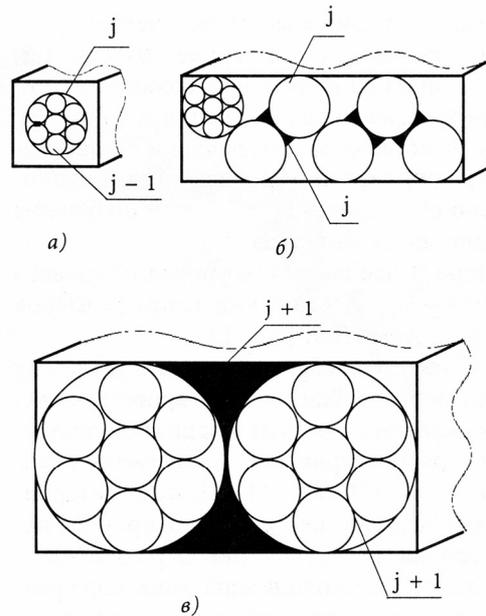


Рис. 15.

Схема появления кластеров фиксированного размера j -го уровня в образцах различных размеров: *a)* в образце возможно формирование только кластера j -го уровня, но трещины могут появиться только на стыке кластеров $(j-1)$ -го уровня;

б) в образце возможно формирование множества кластеров j -го уровня, на стыке которых могут появиться трещины максимального размера j -го уровня;

в) в образце возможно формирование 2-х кластеров $(j+1)$ -го уровня, на стыке которых могут образоваться трещины $(j+1)$ -го уровня;

Размеры трещин (l) соотносятся в следующей пропорции: $l_{i+1} / l_i = l_i / l_{i+1} = k$, где k — коэффициент перехода от кластера j -го уровня к кластеру $(j+1)$ -го уровня. Для металлов $k \sim 10$, для минералов $k \sim 3$.

К примеру, предположим, что мы получаем отливки метрового размера. Внутри нее возможно появление кластера наибольших размеров (кластера верхнего уровня) не более чем метрового размера, следовательно, он образуется субкластерами 10-сантиметрового размера, и границы между ними имеют такой же порядок размеров. Следовательно, и максимальная трещина может иметь длину порядка 10 см. Если же рядом могут образоваться два таких кластера, то размер границы (потенциальной трещины) между ними достигнет метрового размера. Согласно авторскому предположению о десятикратном шаге между кластерами в металлах, следующий размер метакластера — $1000 \text{ см} = 10 \text{ м}$. Поэтому для появления кластера следующего уровня необходимо условие — отливка должна быть не менее 10-метровых размеров. А если мы увеличиваем размеры отливок от 1 метра до 2-х, 3-х, 6-ти и даже 9-ти метров, кластеры более высокого уровня не образуются. Следовательно, не образуются и границы в 1 м, не образуются и потенциальные трещины в 1 м, которые могут привести к катастрофическому, скачкообразному снижению прочности в 10 раз. Лишь переход опасной масштабной границы в 10 метров открывает вероятность образования нового большего по размерам кластера. В таком скачкообразном снижении прочности при прохождении масштабной границы нового кластерного уровня и кроется неразгаданная опасность М-эффекта. Он может не проявлять себя достаточно долго по мере роста масштабов изделий, но как только условия окажутся благоприятными для формирования кластеров более высокого уровня, прочность неожиданно упадет и вероятность разрушения резко возрастет.

Второе. Образование кластера более высокого уровня (большого размера) может произойти скачком при достижении телом размеров следующего уровня кластерообразования (см. рис. 15).

Третье. Поскольку дефекты имеют свойство блуждать по всему телу, то в нем идет непрерывная перестройка на кластерном уровне. При этом вероятность появления кластеров разных масштабов не одинакова. Наиболее устойчивыми и распространенными являются кластеры в размерном диапазоне от 10 до 100 мкм [11]. Даже в материалах, которые не подвергается нагрузке, идет непрерывный процесс переструктуризации, когда кластерная структура перестраивается с уровня на уровень, стремясь достигнуть состояния максимального равновесия. Следовательно, материал со временем может как терять свою прочность, так и приобретать (явление старения). А отсюда — вероятность проявления М-эффекта зависит от возраста материала.

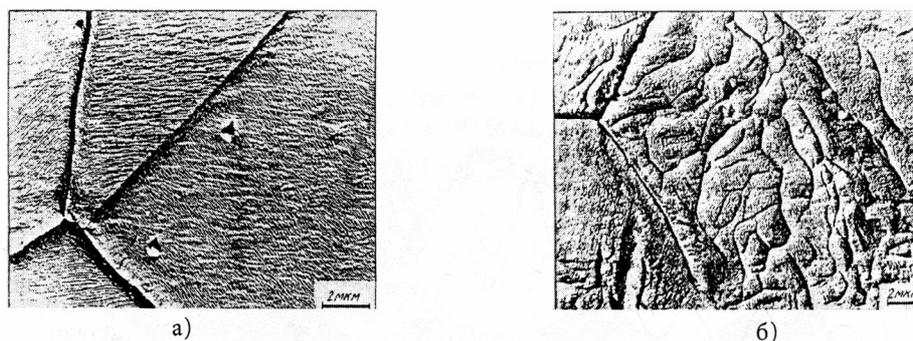


Рис. 16.

а) Область стыка четырех зерен в армко-железе с отчетливо обозначаемой разной ориентацией этих зерен (расположением краев кристаллических плоскостей) после испарения в высоком вакууме.

б) Ячеистая структура в армко-железе, образовавшаяся при циклическом изгибе и выявленная методом испарения в высоком вакууме. Пример слоистого, параллельного к наблюдаемой поверхности расположения кристаллографических плоскостей внутри отдельных ячеек.

Четвертое. Любое внешнее воздействие на образец, если оно не вызывает его разрушение, приводит к тому, что внешняя энергия (механическая или тепловая) поглощается структурой материала. Энергия, в конечном счете, если не излучается обратно, то трансформируется во вновь образовавшуюся свободную поверхность, т.е. в новые дефекты (трещины, например). К примеру, если мы хотим разорвать алюминиевый провод, то достаточно его несколько раз согнуть в противоположных направлениях в одном месте, и он сломается — от усталости. Так вот, внешняя энергия, поглощаемая материалом, идет в том числе и на образование новых кластеров. И если какой-либо масштабный уровень уже полностью заполнен кластерами¹⁰ (например, это зерна), то поступающая энергия уходит на образование кластеров других уровней как более глубоких (рис. 16), так и более высоких. Последнее утверждение легко проиллюстрировать хорошо известным явлением — образованием крупных зерен в местах разрыва образцов, которые испытывают на прочность. Очень хорошо видна бугристая поверхность кластеров более высокого уровня, которые образовались внутри образца в результате поглощения им энергии разрыва. Отметим, что зерен такого масштаба не было в яв-

¹⁰ Это необходимо понимать таким образом, что все тело заполнено зернами примерно одинакового размера и нет свободных от зерен атомов, которые бы могли образовать еще одно дополнительное зерно.

ном виде в исходном образце. Следовательно, М-эффект может «проснуться» на одном из более высоких уровней кластерообразования, чем уровень зерен под воздействием внешних нагрузок.

Рассмотрим это важно следствие более подробно. Предположим, что исходная деталь имеет кластеры всех уровней (рис. 17). В силу упомянутой выше специфики разрушающего воздействия на кластеры симметрии повтора, большая часть кластеров находится в непроявленном виде (они как бы предварительно намечены в структуре материала расположением в нем отдельных дефектов). Лишь кластеры с размерами от 10 до 100 мкм (зерна) присутствуют в металле достаточно явно¹¹, их границы полностью сформированы дефектами и примесями. Внешние нагрузки на деталь приводят к поглощению ею энергии. Предположим, что часть этой энергии уходит на формирование кластеров более крупных размеров чем зерна. Соответственно в детали зарождаются трещины большего масштаба и прочность ее падает. А теперь предположим, что деталь имеет такие размеры, которые позволяют образоваться кластерам 10-сантиметрового масштаба. Поглощение энергии такой деталью может привести к формированию в ней кластеров этого уровня, что приведет к появлению трещин 10-сантиметрового масштаба (см. рис. 17). После завершения процесса формирования кластера нового уровня такая деталь окажется покрытой трещинами нового масштаба.

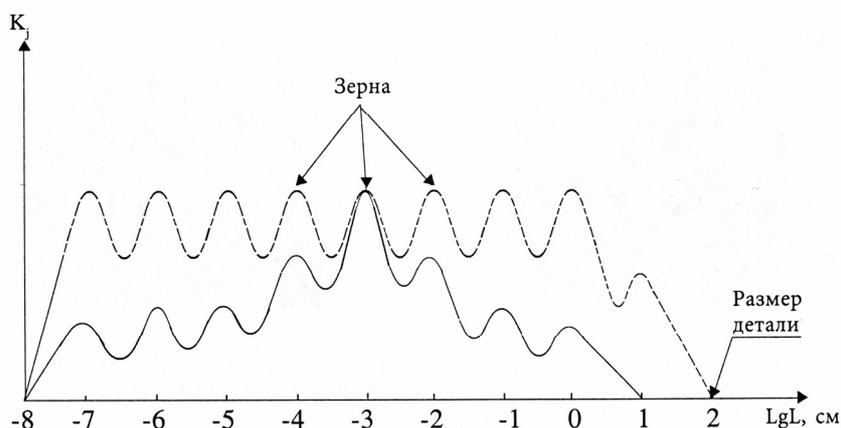


Рис. 17.

Условная диаграмма распределения проявленных кластеров (K_j) в детали до нагружения (—) и после нагружения (---), которое привело к ее разрушению. Показано, что энергия нагрузки поглощена образовавшимися кластерами новых масштабных уровней.

Перейдем теперь к примеру с «деталью» гораздо большего размера. Корпус корабля сварен из листов как цельная конструкция, и его размеры — около 100 метров. В таком цельном корпусе при определенных условиях может сформироваться 100-метровый кластер¹², состоящий из субкластеров 10-метрового масштаба. Или — несколько соседних кластеров 10-метрового масштаба. Границы (и трещины) в таком кластере (или между двумя соседними кластерами) будут также иметь размеры порядка 10 метров (рис. 18). Очевидно, что как только процесс

¹¹ Например, в сталях размер зерен аустенита колеблется в пределах от микрон до миллиметров, но наиболее распространенными являются зерна в диапазоне 10...50 мкм.

¹² Размер кластерообразования в 1 м взят чисто условно. В данном случае нам просто необходим условный пример, чтобы проиллюстрировать скачкообразное появление кластеров следующего уровня с шагом в 10.

кластерообразования завершится и в корпусе корабля появится трещина длиной в 10 метров, корабль разломится даже под собственным весом.

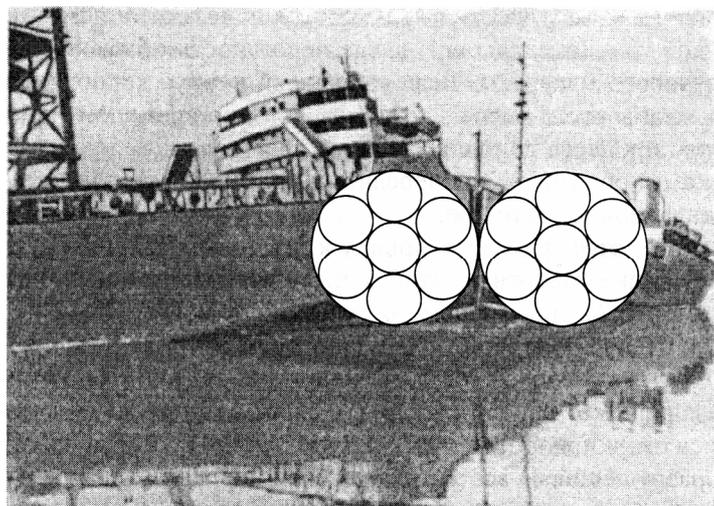


Рис. 18.

Вероятная причина хрупкого разрушения сварного танкера — возникновение в корпусе корабля больших кластеров.

Пятое. До сих пор мы неявно полагали, что метакластер может возникать лишь в целостном изделии (отливке, детали и т.п.). В самом деле, для формирования нового уровня кластеров необходимо, чтобы их границы пролегли без барьеров по всему объекту. Из этого следует, что если мы построим корпус корабля из клепанных листов метрового размера, то максимальные кластеры внутри листа будут иметь размеры около 10 см. Даже при размерах корабля в сотни метров новый уровень кластеров чаще всего не образуется, ведь зазоры между клепанными листами являются непреодолимой преградой для формирования границ больших кластеров и развития длинных трещин. Другими словами, стыки клепанных листов являются ловушками для распространения трещин. М-эффект в таких конструкциях ограничен масштабами одного листа, а эти масштабы хорошо изучены строителями кораблей, и неожиданностей здесь уже не возникает. Поэтому клепанные (или соединенные болтами) конструкции можно создавать очень больших размеров, в меньшей степени опасаясь возникновения кластеров большего масштаба и катастрофического проявления М-эффекта. Другое дело, если корпус корабля — сварной¹³. В этом случае границы между листами практически исчезают, и чем выше качество швов, тем (о парадоксе!) выше вероятность образования кластеров метрового масштаба. Ведь сваренный корпус корабля цельный и его масштабы столь велики, что позволяют со временем (при ускорении этого процесса дополнительными внешними или температурными нагрузками) образоваться очередному уровню кластеров. А это — путь к неожиданной катастрофе.

Видимо, этот фактор и привел к массовым авариям и катастрофам с судами «Либерти», которые были построены по новой технологии — именно на них впервые от клепанных конструкций перешли к сварным. Поэтому первой версией, которую рассматривали комиссии, и была версия о плохом качестве сварки корпусов «Либерти». Однако оказалось, что качество сварных работ безупречно, а

¹³ Правда, то предположение не может быть до конца справедливым, ведь даже у клепанных конструкций проявляется эффект целостности их динамического возбуждения (пульсации, колебания и т.п.). Но в любом случае у сварных конструкций М-эффект должен проявляться чаще.

последствия процесса сварки на прочность листов обшивки не могли являться причиной разрушений. И все же именно при переходе от клепанных корпусов к сварным резко увеличился процент аварий и разрушений. Моя версия опирается на то, что **изменилось лишь одно — масштаб цельного корпуса корабля**, что привело к появлению в корпусе кластеров гораздо больших масштабов, чем могли появиться в клепанных корпусах (см. рис. 6).

Шестое. В ранней работе автора [9] было высказано предположение, что двумерные границы кластеров внутри трехмерных образцов появляются в местах узлов четырехмерных колебаний. Если перевести это утверждение на привычный язык, то из него следует следующее. Пульсации изделия (образца), т.е. расширение-сжатие, создают в нем поле сжатий-растяжений, которое имеет иерархическую структуру за счет образования стоячей волна пульсаций с обертоном спектром, который формирует ячейки в образце. Двумерные границы ячеек — зоны узловых колебаний, т.е. таких, в которых происходит минимум изменений. Сюда же собираются все инородные для данной кристаллической решетки включения. Именно узловые поверхности и становятся границами кластеров. Поскольку основная стоячая волна всегда сопровождается обертонами нескольких уровней, то это создает внутри главных кластеров субкластеры и так вплоть до атомного уровня (см. рис. 17). Из этого можно сделать очень важный вывод: образование кластеров может очень существенно стимулироваться (подавляться) и управляться за счет пульсационных колебаний образца (изделия). Предполагаю, что на пульсации, как фактор, задающий узловые зоны концентрации дефектов, в теории прочности обращается недостаточное внимание. А ведь именно они могут сыграть совершенно непредсказуемую и таинственную роль в процессе формирования кластеров, которые и ведут к непредвиденному разрушению тела. Частота пульсаций, их интенсивность, регулярность и другие характеристики требуют самого тщательного изучения с точки зрения возможности влияния этих параметров на образование кластерно-иерархической структуры вещества.

Итак, мы видим, что кластерно-иерархическая модель позволяет естественно объяснить многие загадки М-эффекта. Дадим теперь ответы на те трудные вопросы, которые мы поставили во 2-м разделе статьи.

Первое. Если мы берем готовую отливку, в которой есть крупные трещины-дефекты и вырезаем из нее образцы, то для мелких образцов вероятность попадания в них крупных трещин меньше, чем для крупных (см. рис. 4). Поэтому разброс прочности для мелких образцов выше, чем для крупных. Последние как ни вырезай, все равно в них почти всегда будет фрагмент границы большого кластера. Именно этим объясняется снижение дисперсии показателей прочности по мере увеличения размеров образцов, которое многократно фиксировалось в различных экспериментах.

Второе. Становится совершенно понятным, почему действие М-эффекта проявляется по мере увеличения размеров образцов периодически. Возьмем деталь, которая имеет размеры, не позволяющие сформироваться кластеру, соизмеримому с ней. Увеличивая далее размеры детали, некоторое время будем оставаться в пределах масштабов, при которых кластеры нового уровня не смогут сформироваться. Поэтому прочность на этом этапе останется неизменной. Но стоит добраться до размеров, на которых возникает возможность формирования кластера нового уровня, как в этой размерной зоне М-эффект проявится с наибольшей силой. И прочность поползет на диаграмме вниз. После некоторого увеличения размеров деталей все возможные кластеры нового уровня сформируются и дальнейшее увеличение опять перестанет приводить к уменьшению прочности. До тех

пор, пока размеры детали не вырастут настолько, что в ней смогут сформировываться кластеры еще одного уровня. Так, между кластерными уровнями М-эффект ослабевает, а при прохождении масштабов кластерного уровня — «оживает».

Третье. Иллюзия того, что за определенным порогом размеров М-эффект уже не встречается, порождена тем, что в настоящее время все отливки и образцы изготавливаются в размерном диапазоне «межкластерного масштаба». Другими словами, технологи просто пока «не добрались» (и слава Богу) до очередного размера, на котором М-эффект заработает с новой силой.

6. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ М-ЭФФЕКТА ЗА ТЕХНИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ

Выше мы вкратце описали кластерно-иерархическую модель М-эффекта. Посмотрим, дает ли она ответы на те загадки, которые сопровождают многие ЗТК. Для этого еще раз сформулируем основные отличительные особенности ЗТК, выявленные комиссиями.

Перечислим основные признаки ЗТК:

1. Причиной аварии не являются: плохое конструирование, дефектные детали и материалы или некачественное изготовление объектов.

2. Причиной аварии не являются какие-то известные физические факторы.

Например, усталостные нагрузки, концентрации напряжений или остаточные напряжения, качество сварки или последствия сварных работ.

3. «Аварии обычно происходили внезапно и сопровождались громким звуком, который в некоторых случаях приписывался вражескому действию» [1, с. 346-347].

4. Очень часто аварии происходят при отсутствии каких-либо внешних силовых воздействий на объект.

Часто суда и мосты рушились без нагрузок, в тихую погоду; суда стояли неподвижно.

5. Нет ни одного общего признака (исключение приведено в п. 6), объединяющего ЗТК.

Аварии происходили практически со всеми видами технических объектов: судами, мостами, резервуарами, трубопроводами и т.п. Аварии происходили во всех странах. Аварии происходили во все времена года. Аварии происходили при самых различных обстоятельствах. И т.д.

6. Единственным общим признаком всех загадочных аварий является то, что они происходили с объектами наибольших размеров.

7. Очень часто ЗТК происходят с объектами, которые имели небольшой срок службы, что исключает фактор классического усталостного разрушения.

Возраст объектов был недостаточным для всех расчетных сроков выхода их из строя в результате старения материала или усталостных нагрузок. Иногда аварии происходили с объектами в момент начала их эксплуатации, но в этих случаях объекты подвергались достаточно интенсивному динамическому воздействию (вибрации, изгибы, пульсирующие нагрузки и т.п.).

8. Достаточно часто аварии происходили в момент понижения температуры, когда она проходила через точку замерзания воды.

9. Упоминание о ЗТК практически исчезло из отчетов всех комиссий после 60-х годов.

Создается впечатление, что обнаруженные двумя комиссиями тысячи и тысячи случаев необъяснимых аварий, которые происходили до середины XX века, прекратились после работы этих комиссий раз и навсегда. Это противоречит логике, ведь причины ЗТК до сих пор не установлены и, следовательно, не устранены. Следовательно, ЗТК продолжают происходить, но их причины списываются на второстепенные факторы.

Все эти особенности находят логическое объяснение в рамках предложенной кластерно-иерархической модели.

Резкий скачок ЗТК во время войны и после нее легко объясняется переходом от клепанных конструкций к сварным. При этом качество сварки не играло важной роли. Просто сварные корпуса судов оказались более целостными конструкциями, в которых образование гигантских кластеров стало происходить гораздо легче, быстрее и чаще. Этим объясняется и общая закономерность понижения срока службы сварных конструкций емкостей, установленная в США (табл. 1) [1, с. 355].

Таблица 1

Разрушение резервуаров	Срок службы, годы			Число разрушений
	Максимальный	Минимальный	Средний	
Частичные:				
Клепанных	35	1	15 лет 6 мес.	20
Сварных	6	0	3 года	3
Полные:				
Клепанных	44	5	21 год 6 мес.	5
Сварных	11	0	4 года 2,5 мес	4
Частичные и полные				
Клепанных	44	1	16 лет 8 мес.	25
Сварных	11	0	3 года 7 мес	7

Безусловно, нельзя списывать все проблемы ЗТК только на сварку. Ведь образование гигантского кластера может происходить и в других конструкциях. Сварка — всего лишь один из «надежных» путей к увеличению размеров и целостности конструкции большего размера.

Становится понятным и неожиданный характер большинства разрушений в ЗТК. Подготовка к образованию кластера верхнего уровня (кластера максимально возможного для данного тела размера) идет медленно и почти незаметно для внешнего наблюдателя. Постепенно мигрируют внутри конструкции внутренние дефекты, скапливаясь по границам блоков внутри кластера верхнего уровня. Постепенно увеличивается масштаб дефектной зоны на границах этих блоков. И постепенно прочность всей конструкции понижается, приближаясь к критическому значению, за которым она становится меньше критической. Именно здесь переход в зону разрушения может ускорить любой дополнительный фактор, играющий роль спускового крючка, вызывающего лавинообразное разрушение вдоль границ кластеров. Разрушение потому и называют хрупким, что оно происходит почти мгновенно и сопровождается громким звуком.

Последним ударом по прочности конструкции могут служить многие дополнительные факторы. Например, резкое понижение температуры (из плюсовой области в минусовую). При этом замерзает вода, которая находится в трещинах на поверхности (возможно, и внутри) тела. Сила расширения льда при этом столь велика, что она провоцирует образование большой трещины, которая затем почти по инерции распространяется по всему телу¹⁴. Напомним, что в отчетах комиссий по расследованию причин аварий с судами рассматривали температурный фактор именно потому, что количество аварий, происходивших после резкого понижения температуры, явно превышало случайное значение¹⁵.

Понятно, и почему комиссии по сути дела прошли мимо М-фактора. Они опирались на вероятностную модель Вейбулла, в которой нет места кластерам и скачкообразным переходам с одного уровня кластерообразования на другой. Поэтому, когда в экспериментальных исследованиях обнаружилось исчезновение М-эффекта при переходе к большим масштабам изделий, это исчезновение было принято за исчезновение М-эффекта на больших масштабах **вообще**. На самом же деле здесь происходил всего лишь переход с одного уровня кластерообразования на другой. Как уже было упомянуто, такой переход ведет лишь к **временному** исчезновению М-эффекта. Но стоит пройти очередной уровень кластерообразования при увеличении масштабов изделия, и М-эффект появится снова, при этом **прочность упадет скачком в несколько раз**. Кроме того, в традиционной модели нет процесса кластерообразования, который может привести к формированию кластеров более высокого масштабного уровня **уже в готовой конструкции**. А это снижает прочность отдельных деталей не в процессе их изготовления, а в процессе их эксплуатации в крупном объекте.

Становится понятным и то, что многие загадочные технические катастрофы происходили без каких-либо внешних причин. Суда и мосты могут в момент разрушения и не подвергаться нагрузке. Ведь процесс перемещения дефектов внутри конструкций идет непрерывно и постепенно. И стоит последнему микродефекту занять свое роковое место на границе кластера верхнего уровня, как этого окажется достаточным для того, чтобы вся конструкция развалилась под собственным весом. Вероятно именно так рухнули некоторые мосты и разломались пополам такие суда, как «Шенектэди» и «Эссо Манхэттон».

И наконец, самое главное. Чем больше размер конструкции, тем выше вероятность возникновения в ней кластера нового уровня; кластеры, границы между которыми будут столь велики, что возникшая в них трещина может мгновенно разрушить ее без каких-либо известных на сегодня причин. Именно поэтому ЗТК чаще всего происходят именно с объектами наибольших размеров в своем классе. Ведь именно эти объекты имеют большую вероятность перейти границу масштабов, за которой возможно формирование кластера следующего уровня иерархии.

¹⁴ В теории прочности материалов хорошо известно, что энергия, необходимая на распространение трещины, на порядки меньше энергии, необходимой для ее возникновения.

¹⁵ Кстати, можно вспомнить и о том, что запуск «Челленджера» был произведен в день после понижения температуры из плюсовой области в минусовую. Можно предположить, что именно это вкупе с М-фактором сыграло роковую роль в трагедии: М-эффект подготовил в теле топливного бака все предпосылки для возникновения большого кластера, соизмеримого с размерами самого бака, а замерзшие микрокапли воды в трещинах на границах кластеров добавили свою разрушающую роль.

7. УГРОЗА ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ

Казалось бы, для нас почти неважно, имеет ли земная кора целостную структуру или дробленную, осколочную. Земля кажется настолько большой, что и потревожить ее вроде бы невозможно. Предоставим, однако, еще несколько цитат из работы И.Н. Яницкого. Проанализировав развитие теории, которая «забыла» о разломах, И.Н. Яницкий пишет: «Вот примерно на какой геологической базе... вошла советская геологическая наука после окончания Второй мировой войны в заключительную фазу «технического прогресса». В условиях продолжающейся гонки вооружений на повестке дня стояло крупномасштабное строительство, начинавшееся с объектов крупной энергетики... Еще в 50-х годах начала активно развиваться программа размещения АЭС на европейской территории СССР. В этой программе учитывались любые, но не тектонические, условия выбора местоположения промплощадок. А поскольку одним из ведущих критериев размещения считался экономический, где главным была близость к средствам охлаждения, то все АЭС оказались расположенными на берегах рек. И никому из проектировщиков уже не было дела до того, что эти крупногабаритные и тяжелые конструкции окажутся в наиболее сложных инженерно-геологических условиях. Вслед за атомными электростанциями, исходя из несколько иной «стратегии»... начали возводиться объекты по захоронению в недра наиболее токсичных промотходов» [17, с. 91]. Итак, И.Н. Яницкий считает, что крупные технические сооружения построены «по незнанию» на самых опасных местах — на стыках отдельных блоков. В частности, именно их резкая подвижка, по его мнению, стала главной причиной аварии на Чернобыльской АЭС.

Второй аспект этой проблемы. Речь идет о добыче полезных ископаемых из земной коры и проведении подземных испытаний атомного оружия. При гигантских размерах земной коры, казалось бы, все подобные действия равносильны уколу комара. Но возникает совершенно неожиданный вопрос: а не переоценивает ли наука прочность земной коры? Учитывает ли она в своих расчетах масштабный фактор? В том же многотомнике «Разрушение» в разделе «Хрупкое разрушение горных пород» Л. Оберт пишет: «К сожалению, имеется очень мало данных о соответствующих испытаниях горных пород (кроме угля)» [3, с. 62]. И далее: «следует отметить, что механика разрушения металлов и других обычных технических материалов имеет дело с субмикроскопическим, микроскопическим и макроскопическим масштабами явлений, но не включает мегаскопический уровень рассмотрения, когда размеры дефектов сравнимы с размерами рассматриваемого тела. В противоположность этому значительная часть инженерных проблем, возникающих в этой области, касается мегаскопических аспектов, т.е. масштаба, включающего крупные механические дефекты в горных породах» [Там же, с. 62]. «До сих пор количественное определение прочности горных пород на строгой основе субмикроскопических представлений сделать не удалось... Хотя горная порода благодаря наличию связей является сплошным телом, ее прочность в основном определяется количеством, размером и ориентацией имеющихся дефектов» [Там же, с. 64].

Приведенные цитаты прекрасно иллюстрируют, насколько слабы знания науки о прочности пород на мегамасштабах. Такова плата современной цивилизации за узкую специализацию. А ведь выкачивание из недр гигантских количеств газа и нефти теоретически может привести к изменению соотношения сил на границах

блоков (если эти запасы сосредоточены именно там). Может сработать эффект курка, когда извлеченная демпферная прослойка между двумя блоками запустит механизм сдвига этих блоков. Подобные целостные движения могут произойти скачком, как в классическом случае хрупкого разрушения. Масштаб такого сдвига может оказаться настолько велик, что о его катастрофических последствиях стоило хотя бы теоретически поразмышлять. Не хотелось бы нагнетать излишние страхи, но все же геофизикам не мешает переосмыслить некоторые свои модели с учетом возможного существования М-эффекта.

8. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТОРОНА ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ М-ЭФФЕКТА

Проблема М-эффекта выходит, как это видно из предыдущего материала, за узкие рамки научной или чисто инженерной темы. Потенциальная опасность его настолько не изучена и настолько велика, что ограничиться изложением собственного взгляда на эту проблему я не мог. Имея некоторый опыт общения с государственными структурами, которые обязаны в таких случаях принимать соответствующие решения, я понимаю, что дожидаться от них оперативной реакции будет крайне маловероятно. Поэтому привожу здесь сведения о тех шагах, которые предпринял после осознания роли М-эффекта, и план организационных мероприятий, которые могут ускорить исследование данного вопроса.

Хотя я знал о М-эффекте с 80-х годов, мне и в голову не приходило связывать его с загадочными катастрофами последних десятилетий. Я был уверен, что инженерная наука прекрасно знает о М-эффекте и учитывает его в достаточной мере. Ведь для этого достаточно было даже того, что было написано о М-эффекте в сборнике «Разрушение». И я был убежден, что за последующие после отчетов послевоенных комиссий годы знание о свойствах М-эффекта было продвинуто намного дальше. К сожалению, это оказалось не так.

К изучению М-эффекта я вернулся в 1997 году, когда началось оформление основного труда моей жизни — книги «Масштабная гармония Вселенной» [11]. Поскольку эта тема, которая была мне всегда очень интересна, могла показаться для большинства людей и не столь важной, я решил на наглядных примерах проиллюстрировать актуальность проблемы масштабной симметрии. Так родилась вводная часть книги, в которой планировалось поместить пять разделов, один из которых был посвящен проблеме М-эффекта и возможной его роковой роли в самых крупных авариях и катастрофах¹⁶.

Сбор материала к этому разделу был начат с опроса специалистов в области прочности материалов и кораблестроения. Была надежда получить от них яркие примеры того, как масштабный эффект губит самые крупные системы. Однако встречи со специалистами кафедр ведущих технических институтов оставили обескураживающее впечатление. Большинство из них лишь очень отдаленно представляли суть М-эффекта, и все были убеждены, что он вообще не может играть серьезной роли в авариях.

¹⁶ Впоследствии раздел по М-эффекту был снят из чисто композиционных соображений, но поиск материала для него вывел меня на такие парадоксы М-эффекта, что привело к написанию данной работы.

Тогда я решил, что лучше эту информацию собрать в Мекке кораблестроения — в Санкт-Петербурге. Однако поездка туда и встречи с различными специалистами показали, что и здесь было трудно найти людей, которые бы в деталях знали о М-эффекте. В результате долгих опросов я выяснил телефоны и адреса ведущих специалистов в области прочности материалов. Нет смысла называть конкретные фамилии, ведь опрос носил неофициальный характер. В разговоре с ними я выяснил, что они четко придерживаются убеждения в третьестепенности М-фактора. А когда я решил напомнить об авариях с кораблями «Либерти», то услышал в ответ, что основная их причина была не в М-эффекте, а в качестве сварки корпусов. В первый момент я был обескуражен, т.к. помнил, что сварка была там не причем. Но поскольку энциклопедию «Разрушение» я читал очень давно, лет 15 назад, то не был уверен в собственной правоте и решил себя перепроверить.

Вернувшись в Москву, я нашел в библиотеке 7-томник «Разрушение» и прочитал обзор Дж.М. Бойда заново. Сомнения пропали. Все специалисты, с которыми я беседовал об авариях с «Либерти», называли причины, *перечисленные* в упомянутом обзоре, *но отвергнутые* как не имеющие возможности быть истинными. Я понял, что большинство моих собеседников, несмотря на свой профессионализм, очень поверхностно запомнили этот отчет, скорее всего у них осталось в памяти упоминание различных факторов, но не удержалось другое — то, что все упомянутые факторы после их анализа были признаны не виновными в авариях. Честно признаюсь, это было шоком. Вместо простого сбора материала мне предстояло либо забыть о теме М-эффекта, либо пуститься в тяжкий путь «просвещения» посвященных.

Некоторое время я колебался. Но в конце концов выбрал трудный вариант. Меня мучило то, что если специалисты в области прочности материалов не подозревают о коварной роли М-эффекта, то что же тогда ждать от обычных конструкторов? А ведь именно они и проектируют суда, самолеты, мосты, трубопроводы и т.д. Но может быть, я общался с далеко не самыми лучшими специалистами в этой области?

И здесь мне подыгрывает судьба. Как раз в это время я участвовал в работе аналитической группы¹⁷ по проблемам инноваций при Совете Федерации РФ. На очередной встрече у А.В. Давыдова я рассказал об М-факторе. К счастью, эта информация была воспринята предельно серьезно. От имени Совета Федерации нами была подготовлена короткая докладная записка (Приложение 1) о возможной роли М-эффекта и передана С.В. Глазьеву, а им она была направлена в два адреса:

1. В Совет Безопасности (Приложение 2).
2. В Министерство науки и технологий РФ (Приложение 3).

Через некоторое время меня вызвали в Совет Безопасности. Очень корректный и, главное, хорошо подготовленный в этом вопросе сотрудник СБ — В.А. Лямин внимательно выслушал подробности моей версии о роли М-эффекта в технических катастрофах. Аргументы показались ему достаточно вескими, и после встречи он направил запрос в Рабочую группу при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности. Оттуда сообщили о готовности заслушать мое сообщение (Приложения 4 и 5). Соответствующий документ был направлен из СБ РФ в СФ РФ (Приложение 6).

¹⁷ Группа была создана по инициативе сотрудника аналитического отдела Совета Федерации РФ А.В. давыдова.

Безусловно, когда я шел на встречу с заместителем руководителя РГ РАН «Риск и безопасность» Н.А. Махутовым, то прекрасно понимал всю шаткость своего положения. Навязчиво витал образ Левши, предупреждающего о неправильной чистке ружей. Узкие профессионалы очень не любят советчиков со стороны. Наивно было бы ждать, что, выслушав меня, они проникнутся значимостью сделанного предположения. А кроме того, ведь если признать справедливость моих идей о роли М-фактора, то придется пойти дальше и предоставить мне базу и средства для окончательной экспериментальной проверки кластерно-иерархической модели. Я был уже достаточно опытен, чтобы не ждать ничего позитивного от этой встречи. И все же важно было совершить эту акцию и выслушать все контраргументы с их стороны. Во всяком случае, сказав «А» в СФ РФ, я должен был сказать и «Б». Признаюсь, что при этом в глубине души все же теплилась слабая надежда на чудо, на то, что все же удастся достучаться до официальных структур и поднять их на исследования.

Кроме Н.А. Махутова на встрече присутствовали еще несколько специалистов, видимо, членов комиссии. Визиток они не дали, а запомнить их фамилии и регалии я не успел. К внимательному отношению их обязывал исходный уровень инициативы — все же Совет Федерации, поэтому разговор происходил в очень вежливой и корректной форме, но суть его, если отбросить весь дипломатический антураж, сводилась к следующему:

Первое — нужно было показать гостю (т.е. мне), что члены комиссии прекрасно знают об М-эффекте. Второе — объяснить, что значимость М-эффекта мною значительно преувеличила, что если М-эффект и играет какую-то роль, то она никогда не определяет главных причин аварий. Третье — убедить меня, что в необходимых случаях с М-эффектом работают, но в моей помощи не нуждаются. Четвертое — предложить мне такой вариант дальнейшего развития событий, от которого я бы отказался сам. Все это я понял очень быстро. Но пользуясь статусом посланника СФ, постарался хоть как-то раскочевать воображение присутствующих и сместить их жесткую позицию в нужном для меня направлении. Это вызвало два результата. Один из присутствующих в конце концов потерял дипломатическое терпение и рубанул, что он построил немало секретных и очень крупных сооружений, но всегда обходился без расчетов на уровне атомов, хватало макротеорий из области сопромата. Второе, сам Н.А. Махутов, желая убедить меня в третьестепенности поднятого вопроса, рассказал очень поучительную историю. Еще в советское время у нас решили построить электростанцию с мощностью узлов сразу в 1,5 раза большей, чем строили до этого. Хотели переплюнуть американцев. Валы на этих узлах были соответственно на много больше, чем прежние. Учли все, в том числе и дополнительный запас прочности на М-эффект. Однако сразу после запуска станции все силовые агрегаты катастрофически разрушились. Бум был такой, что американцы тут же засекли его из космоса. И что же вы думаете, спросил меня Н.А. Махутов, дело было в М-эффекте? Нет, дело было в том, что на валах были специальные пазы, куда входили точно подогнанные детали, так вот в этих то пазах и произошел разрыв валов. А причина начала разрыва была установлена комиссией (куда входил и сам Н.А. Махутов) и состояла в так называемом фреттинг-эффекте. Масштаб же этих процессов исчислялся чуть ли ни микронами. Этот пример Махутов привел только для того, чтобы показать, что в подобного рода катастрофах нет никаких общих свойств, связанных с М-эффектом. Я не стал на встрече спорить. Ведь разрушение в валах произошло, казалось бы, от совершенно иной причины. Но после встречи меня вдруг осенило, что и в данном случае с электростанцией сработал именно М-эффект, однако не

впрямую, а косвенно. Более того, я уверен, что если бы конструкторы валов имели перед собой модель М-эффекта, они бы не допустили таких последствий и грандиозной аварии не было бы.

После встречи с комиссией мне стало окончательно ясно, что при сложившейся монополии на знания не удастся создать альтернативную точку зрения, к которой бы прислушались власти. И это отсутствие конкуренции переводило все проблемы безопасности в вотчину группы специалистов, которые посторонних туда не пускают.

Справедливости ради нужно отметить, что сам Н.А. Махутов согласился рассмотреть мои предложения по проведению экспериментов в области М-эффекта, если они будут сформулированы в письменном виде. Кроме того, через некоторое время позвонил из СБ и В.А. Лямин, который с вниманием выслушал мои сообщения и попросил в случае необходимости его информировать.

Кроме того, поскольку в РГ РАН «Риск и безопасность» отношение к М-эффекту было таким же, как и у всех опрошенных мною специалистов, я понял, что имею дело с общенаучным сложившимся убеждением о вторичной, и даже третичной его роли в технике. Разрушить этот штамп в одиночку мне представлялось невозможно.

Поэтому я и пишу эту статью — первый шаг в борьбе за признание важности М-эффекта. Во мне теплится надежда, что ситуация в стране в корне изменится и расследование катастроф будет проводиться как минимум двумя-тремя независимыми комиссиями. Пример открытости с «Курском» свидетельствует в пользу такой вероятности. Возможно, эту статью прочтут специалисты в области проектирования сложных технических систем. Возможно, они захотят провести совместный эксперимент по проверке выдвинутой модели М-эффекта.

Кроме того, есть одна неразгаданная катастрофа — с паромом «Эстония». Возможно, что те, кто продолжает искать истину, заинтересуются версией о причастности к этому трагическому событию М-фактора.

Итак, с моей точки зрения, исследование М-эффекта нуждается в кардинальном увеличении усилий со стороны всех потенциально связанных с ним направлений науки и техники: теории материалов, инженерного проектирования, геофизики, практики добычи полезных ископаемых, строительства и т.д. Даже если не рассматривать многие глобальные аспекты М-эффекта и сосредоточиться только на его влиянии на инженерные сооружения, то и в этом случае необходимые затраты на проведение дополнительного изучения М-эффекта не превысят и 1/10 от потерь любой крупной катастрофы, произошедшей по его вине. Поэтому, если даже оставаться на голых экономических соображениях, то необходимо принять следующее:

1. Организовать серию экспериментов, в которых проверить реальность кластерно-иерархической модели М-эффекта.
2. Создать независимую (желательно международную) комиссию с самыми широкими полномочиями, которые бы позволили заново проанализировать все крупные технические аварии и катастрофы, произошедшие за прошедшее столетие.
3. Включить М-эффект в список потенциальных причин катастроф, имеющих загадочные причины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

XX век часто называют то веком космоса, то атомным веком, то веком химии. Но если вдуматься во все подобные определения, то за ними стоит одно общее достижение цивилизации: в XX веке человечество впервые широко раздвинуло масштабные границы своего воздействия на природу (схема 3 в Приложении 1). Ведь впервые была получена возможность черпать энергию с уровня ядер атомов (10^{-13} см), а это — проникновение в микромир на 5 порядков «глубже», чем химическая энергия (10^{-8} см). И впервые деятельность человечества стала заметно влиять на планетарные масштабы (10^9 см). Выход же в космос раздвинул масштабные горизонты проникновения разума еще дальше.

Очень символично и то, что на явление катастрофического опасного для всего человечества понижения прочности мир обратил внимание во второй половине XX века, когда человечество впервые вышло за границы хорошо изученных масштабов. С одной стороны — прорыв в мегамасштабы — выход в космос, увеличение размеров всех технических систем и сооружений, достижение глобального уровня воздействия на Биосферу и на поверхность Земли. А с другой стороны — резкое раздвижение масштабных границ воздействия на мир в сторону меньших масштабов. Взорванные в Японии атомные бомбы имели не только прямые мегамасштабные последствия разрушения, но и не обнаруженные сразу невидимые, микромасштабные последствия — радиоактивное облучение мельчайшими осколками ядер атомов, которые до этого момента никто не дробил в таких масштабах на Земле. Оказалось, что эти невидимые мельчайшие частицы-убийцы имеют для людей прямую угрозу. И во второй половине века, образно говоря, весь мир напряженно всматривался в микромир, ожидая угрозы для всего живого на Земле именно оттуда. А что, если неведомая опасность подстерегает все человечество с совершенно другой стороны масштабной оси, со стороны мегамира?

И что, если загадочные разрушения кораблей и мостов в начале XX века — это лишь предвестники более грандиозных разрушений в начале XXI века? И что, если это было последним предупреждением всему человечеству, которое так его и не поняв может перейти невидимую грань, за которой последует ужасающая цепь катастроф? Неужели мы так ничему и не научились за 100 лет?

Конечно, эти опасения могут оказаться и напрасными. Ведь мы не знаем до конца внутреннего устройства Земли и не знаем, какие силы поддерживают стабильность планетных покровов. Более того, определенную роль в устойчивости земной коры играют конечно и гравитационные силы. А масштабный фактор обнаружен пока лишь для тел, целостность которых обусловлена электромагнитными взаимодействиями.

Но почему же при расчете любого корабля инженеры очень тщательно учитывают **все возможные факторы** разрушения, а при оценке прочности нашего общего космического корабля не учитывается один из наиболее сильных факторов, понижающих прочность, — масштабный? Неужели лишь потому, что нет в мире ни одной конкретной фирмы, которая бы несла ответственность за безопасность нашего общего «плавания» в космосе?

Докладная записка

"Масштабный фактор - глобальная угроза человечеству"

В XX веке впервые за всю историю человеческой цивилизации на многие порядки резко расширился масштабный диапазон деятельности (схема 1).

Это привело не только к расширению технологических возможностей, но и к столкновению с не исследованными, теоретически непредсказуемыми факторами опасности, действующими в новых масштабных интервалах.

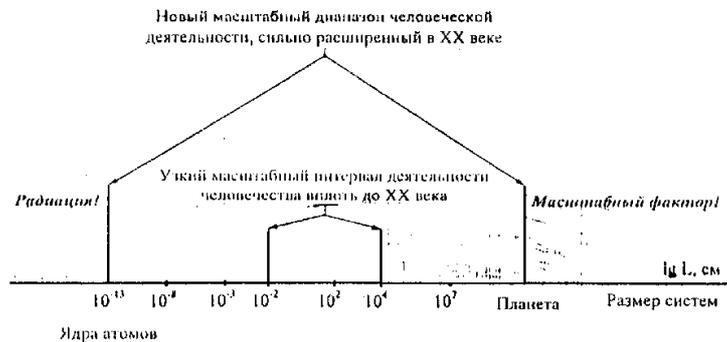


Схема 1.

Движение влево, в микромир, актуализировало радиационную опасность, так отравившую среду обитания, что теперь неизвестно, как от нее избавиться.

Еще большую угрозу таит движение вправо, в область мегамира. Здесь человечество может спровоцировать действие ранее совершенно не известного **Масштабного фактора**, особого явления физического мира.

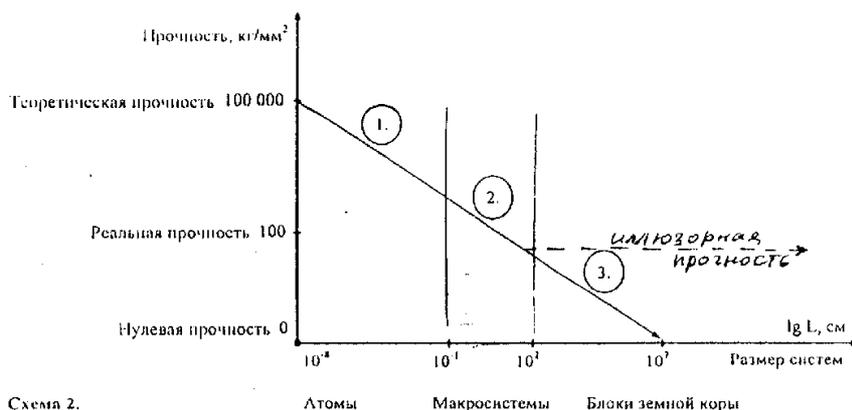
Суть масштабного фактора состоит в том, что *с увеличением размеров любых тел их прочность падает до тех пор пока не достигает нуля*.

Надо отметить, что в такой формулировке масштабный фактор не известен. Узкая специализация современной науки не позволяет рассмотреть его как Целое за известными ей фрагментами этого общего закона природы.

Только взяв в рассмотрение диапазон размеров от атомов (10^{-13} см) до планет (10^7 см), можно понять насколько всеобщим является это явление и до какой опасной черты дошла к настоящему времени наша цивилизация.

00015561_Дата создания: 16.09.98 14:02_Дата последней редакции: 17.09.98 13:08_Файл печатный: 17.09.98 13:11

Представляется, в общая картина выглядит следующим образом:



1-й участок прямой - физика твердого тела.

Здесь хорошо известно явление "теоретической прочности". Суть его в том, что расчет прочности любых тел на основе оценки суммарной силы разрыва межмолекулярных связей приводит к результату, который показывает прочность в 1000 раз более высокую, чем реальная конструкционная прочность.

Таким образом, общеизвестно, что прочность тел падает на 3 порядка при переходе от атомарных размеров к макротелам (миллиметры).

2-й участок прямой - расчет конструкций на прочность.

Только в середине XX века было широко изучено явление так называемого масштабного фактора: прочность любых конструкций уменьшается *в несколько раз* при увеличении размеров деталей с миллиметров до сантиметров.

Внимание к этому явлению было привлечено государственными комиссиями США и Великобритании, которые расследовали цепь загадочных катастроф с крупными кораблями, мостами, трубопроводами, емкостями.

К сожалению, природа масштабного фактора до сих пор до конца не ясна. Поэтому нынешняя инженерная практика не может предсказать неожиданные катастрофические разрушения особо крупных конструкций.

Более того, общепринятой сегодня является ничем не обоснованная версия о том, что в диапазоне больше сантиметрового масштабный фактор не действует.

Это иллюзия, которая может стоить крупных потерь не только в технике, но и в глобальных социально-политических масштабах.

3-ий участок прямой - геофизика.

Относительно недавно геофизика пришла к неожиданному выводу: земная кора на масштабах сотен километров не является связанной целостностью. Образно говоря - это колотый лед на поверхности озера.

Каждый кусок коры лишь соседствует с остальными, а не связан с ними силами межмолекулярного взаимодействия. Этот вывод полностью объясняется тем, что при движении вправо по размерной оси в сторону более крупных систем - горных пород, прочность продолжает падать, пока не достигает нуля (схема 2).

Значит масштабный фактор действует на всем диапазоне размеров твердых тел, начиная от атомарных масштабов и заканчивая планетарными непрерывно уменьшая прочность систем по мере увеличения их размеров.

Поскольку деятельность цивилизации все больше сдвигается в область более крупных конструкций и более масштабного воздействия на земную кору, то опасность срыва в пропасть разрушения возрастает с каждым годом:

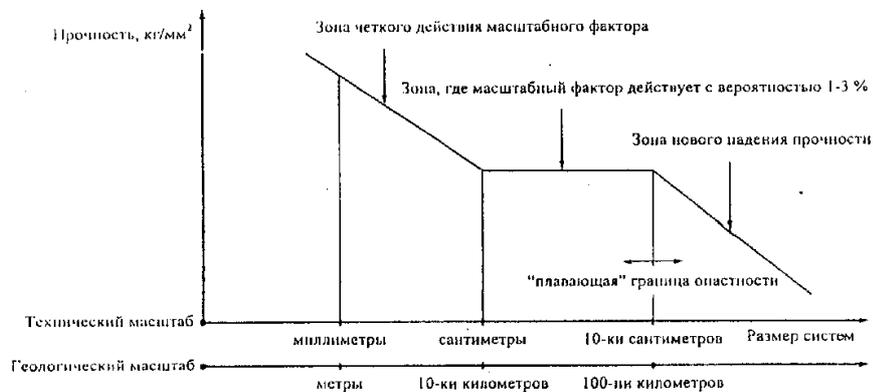


Схема 3.

Технический аспект проблемы: поскольку техника лишь вступила в переходную зону очередного порога снижения прочности, то страшные катастрофы с особо крупными конструкциями происходят пока лишь изредка.

Планетарный аспект проблемы: отдельные системы земной коры (около 100 км) пока лежат рядом друг с другом, но не зная их структуры и особенностей расположения деятельность человека может привести к срыву в хрупкое разрушение системы равновесия. Это подземные ядерные взрывы, выработка из недр нефти, газа, строительство крупных объектов и тому подобное.

00033307 Дата создания: 16.09.98 13:02 Дата последней редакции: 17.09.98 13:08 Экземпляр: 17.09.98 13:11

Приложение 2

ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
АППАРАТА СОВЕТА ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

27 - октябрь 2021

№ 53-17/1021

г. Москва, Совет Федерации,

ул. Б. Дмитровка, 26

Секретарю Совета Безопасности
Российской Федерации

БОРДЮЖЕ Н.Н.

Уважаемый Николай Николаевич!

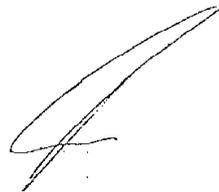
Направляю Вам докладную записку "Масштабный фактор - глобальная угроза человечеству", подготовленную экспертами Информационно-аналитического управления Аппарата Совета Федерации.

В связи с обоснованными в данном документе угрозами техногенных катастроф полагаю необходимым провести соответствующие проверки.

В свою очередь Информационно-аналитическое управление Аппарата Совета Федерации готово оказать посильное содействие данным исследованиям.

Приложение. На 4 л., 1 экз.

Начальник Управления



С.Ю. ГЛАЗЬЕВ

ИНФОРМАЦИОННО
АНАЛИТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
АППАРАТА СОВЕТА ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

- 27 - октября 1998 г.

№ 5.3-17/1021

г. Москва, Совет Федерации,

ул. Б. Дмитровка, 26

Первому заместителю Министра науки и
технологий Российской Федерации

КОЗЛОВУ Г.В.

Уважаемый Геннадий Викторович!

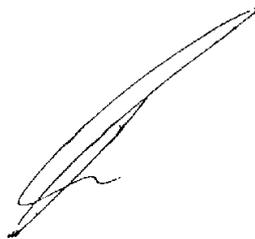
Направляю Вам докладную записку "Масштабный фактор - глобальная угроза человечеству", подготовленную экспертами Информационно-аналитического управления Аппарата Совета Федерации.

В связи с обоснованными в данном документе угрозами техногенных катастроф полагаю необходимым провести соответствующие проверки.

В свою очередь Информационно-аналитическое управление Аппарата Совета Федерации готово оказать посильное содействие данным исследованиям.

Приложение. На 4 л., 1 экз.

Начальник Управления



С.Ю. ГЛАЗЬЕВ



Российская Академия Наук

**Рабочая группа при Президенте РАН
по анализу риска и проблем безопасности**

РГ РАН «РИСК И БЕЗОПАСНОСТЬ»

117993 Москва, Ленинский просп., 32-А, Тел. 938-08-10, 938-53-65, Факс 938-53-03

1-КВ-900,128 № 28.06.99 1409 Г

На № _____

Г _____ Г

Начальнику Информационно-
аналитического управления
Совета Федерации Федерального
Собрания Российской Федерации
С.Ю.Глазьеву

Копия: Заместителю секретаря -
Совета Безопасности
Российской Федерации
В.Потапову

Глубокоуважаемый Сергей Юрьевич!

В связи с Вашим обращением в Совет Безопасности Российской Федерации по материалам докладной записки "Масштабный фактор - глобальная угроза человечества", подготовленной экспертами Управления, представляется целесообразным заслушать эту проблему на заседании Бюро Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности или на Бюро Научного совета ФЦНТП ПП "Безопасность".

Предварительно постановку этого вопроса необходимо согласовать с чл.-корр. РАН Н.А.Махутовым (тт. 135-35-60, 923-50-97).

Руководитель РГ РАН
академик

К.В.Фролов

Бх. 135
22.02.99

Приложение 5

В Совет Безопасности
Российской Федерации
Лямину В.А.

Факс 2063236

Заявление по материалам докладной записки "Масштабный фактор - глобальная угроза человечеству"

В предостерегающем кратком материале вкратце обращается внимание на известное в науке явление масштабного фактора в механических системах, характеризуемого снижением сопротивления разрушению при увеличении абсолютных размеров тела. Применительно к системам с варьируемыми размерами в диапазонах 3-4 порядков экспериментально и теоретически обосновывался факт снижения прочности по законам, близким к степенным. Это получило свое отражение и в инженерных расчетах прочности несущих элементов, позволяя назначать запасы прочности с учетом эффекта абсолютных размеров.

Однако, построение единой теории масштабного фактора при изменении геометрических размеров в диапазоне 20 порядков и более не может означать достижения нулевой прочности: утверждение этого на стр.1 и рис.2 неправомерно.

При трактовках масштабного фактора могут использоваться существенно различные фундаментальные теории физики элементарных частиц, физики твердого тела, механики деформируемых тел, геомеханики, астрофизики. Вместе с тем, погрешности в построении единых зависимостей типа схем 2 и 3 будут давать неприемлемые результаты в различных предметных областях теории катастроф и теории безопасности.

Применительно к последним масштабный фактор заслуживает внимания не только с точки зрения механических систем, но физико-химических процессов развития катастрофы (взрывы, горение), социально-психологических, медико-биологических и информационных угроз.

Комплекс указанных выше проблем может быть обсужден с привлечением ведущих специалистов, работающих по проблемам безопасности природно-техногенной сферы в рамках ФЦНТТ III "Безопасность", о чем указано в письме РИ РАН "Риск и безопасность" от 28.01.1999 г.

Член-корреспондент РАН

 Н.А.Махутов

Приложение 6

ЗАМЕСТИТЕЛЬ
СЕКРЕТАРЯ СОВЕТА БЕЗОПАСНОСТИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

г. Москва

« 18 » февраля 1999 г.

№ А21-330

Начальнику Информационно-
аналитического управления аппарата
Совета Федерации Федерального Собрания
Российской Федерации

С.Ю.ГЛАЗЬЕВУ

Аппарат Совета Федерации	
Управление делопроизводства	
Дата	18.02.1999
Время	19 час 55 мин
№	4768

Уважаемый Сергей Юрьевич !

Затронутые в докладной записке «Масштабный фактор – глобальная угроза человечеству» вопросы безусловно являются важными для обеспечения национальной безопасности.

Проблема «масштабного фактора», по-видимому, носит более комплексный, многоплановый характер и может рассматриваться не только применительно к механическим системам, но также к физико-химическим процессам развития катастроф, созданию социально-психологических, медико-биологических и информационных угроз. Специфика содержащихся в материале данных и выводов, ввиду их неоднозначности, по нашему мнению, требует дополнительной научной проработки.

Принимая во внимание актуальность и неоднозначность оценки угроз и перспектив влияния проблемы «масштабного фактора» на глобальную и региональную безопасность, достигнута предварительная договоренность о ее рассмотрении Рабочей группой при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности или Бюро научного совета Федеральной целевой научно-технической программы «Безопасность», о чем Вы проинформированы руководителем Рабочей группы академиком К.В.Фроловым (исх. № 1-КВ-990128 от 28.01.99г.).

Прошу Вас поручить уточнить сроки подготовки и рассмотрения соответствующих докладов.

С уважением, А.Московский
А.Московский

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бойд Дж.М.* Практические примеры проектирования конструкции судов // Разрушение: В 7 т. — М.: Металлургиздат, 1977. Т. 5. С. 343–420.
2. Машиностроение. Энциклопедия в 40 т. Раздел II. Материалы в машиностроении. Т. II–2. Стали. Чугуны. — М.: Машиностроение, 2000.
3. *Оберт Л.* Хрупкое разрушение горных пород // Разрушение: В 7 т. — М.: Металлургиздат, 1976. Т. 7. Ч. 1. С. 59–126.
4. *Петров Ю.И.* Кластеры и малые частицы. — М.: Наука.
5. *Розен Б.У., Дау Н.Ф.* Механика разрушения волокнистых композитов // Разрушение: В 7 т. — М.: Металлургиздат, 1976. Т. 7. Ч. 1. С. 308.
6. *Садовский М.А.* О распределении размеров твердых отдельностей // ДАН СССР. 1983. Т. 269, № 1. С. 69–72.
7. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. — М.: Наука, 1986.
8. *Сухонос С.И., Бердилов В.Ф.* Упаковочная модель возникновения устойчивых отдельностей // ВНИИ абразивов и шлифования. Ленинград, 1986. С. 2–38. Деп. ВНИИТЭМР 07.01.86. № 29–86.
9. *Сухонос С.И.* К причинам возникновения преимущественных размеров естественных тел природы. ВолгПИ. Волгоград, 1987. Деп. в ВИНТИ 27.01.88, № 733–В88.
10. *Сухонос С.И., Юрченко Л.Ю., Бердилов В.Ф., Красюк Б.А., Семново О.Г.* Анализ характера распределения по геометрическим характеристикам частиц искусственного карбида кремния // ДАН СССР. 1987. Т. 311. №2. С. 364–367.
11. *Сухонос С.И.* Масштабная гармония Вселенной. — М.: София, 2000.
12. *Филлипс К.Дж.* Разрушение стекла // Разрушение: В 7 т. — М.: Металлургиздат, 1976. Т. 7. Ч. 1. С. 40.
13. *Хоникомб Р.* Пластическая деформация металлов. — М.: Мир, 1972.
14. *Чечулин Б.Б.* Масштабный фактор и статистическая природа прочности металлов. М.: Металлургиздат, 1963.
15. *Шубников А.В.* Избранные труды по кристаллографии. — М.: Наука, 1975. С. 144–153.
16. *Юрченко Л.Ю., Бердилов В.Ф., Сухонос С.И.* О некоторой инвариантности физических свойств черного карбида кремния при изменении технологических параметров его дробления // ДАН СССР. Т. 293, № 3. С. 610–613.
17. *Яницкий И.Н.* Живая Земля. — М.: Агар, 1998.
18. *Bloomfield L.A., Geusic M.E. and avers.* Production and Photofragmentation of Semiconductor Clusters and Cluster Ions. Materials of The 1st NEC Symposium of Fundamental Approach to New Material Phases Microclusters. Oct., 20–23, 1986, Tokyo. Part VII, P. 238–268. *Wille L.T.* Minimum-energy configurations of Atomic Clusters: New Results Obtained by Simulated Annealing Cemical Physics Letters, V. 133, № 5. P. 405–410.
19. *Wille L.T.* Minimum-energy configurations of Atomic Clusters: New Results Obtained by Simulated Annealing Cemical Physics Letters, V. 133, № 5. P. 405–410.